



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

III PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“VIABILIDAD TÉCNICO Y ECONÓMICA DE LA
CONVERSION DE UN CAMION MINERO CAT
793D DE SISTEMA DIESEL A UN SISTEMA
COMBINADO DIESEL-GNL EN LA REGIÓN ICA”**

Presentado por:

Bach. RICARDO JAVIER RAMÍREZ DEL CASTILLO

ASESOR:

ING. TAPIA ASENJO ROBINSON

**LAMBAYEQUE – PERÚ
2020**



UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

III PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**"VIABILIDAD TÉCNICO Y ECONÓMICA DE
LA CONVERSION DE UN CAMION MINERO
CAT 793D DE SISTEMA DIESEL A UN
SISTEMA COMBINADO DIESEL-GNL EN LA
REGIÓN ICA"**

Autor:

Bach. RICARDO JAVIER RAMÍREZ DEL CASTILLO

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: ING. AGUINAGA PAZ AMADO

SECRETARIO: M.Sc. ING. VILLALOBOS CABRERA JONY

VOCAL: ING. SOSA VICTORIANO JOSÉ JAVIER

ASESOR: ING. TAPIA ASENJO ROBINSON

**LAMBAYEQUE – PERÚ
2020**



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

III PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS

TESIS

TITULO

**“VIABILIDAD TÉCNICO Y ECONÓMICA DE LA CONVERSION DE UN CAMION
MINERO CAT 793D DE SISTEMA DIESEL A UN SISTEMA COMBINADO DIESEL-
GNL EN LA REGIÓN ICA”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.

CAPITULO II: MARCO TEORICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

AUTOR: Bach. RICARDO JAVIER RAMÍREZ DEL CASTILLO

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ASESOR

**Lambayeque – Perú
2020**

DEDICATORIA

La presente tesis TESIS, va dedicada a MIS PADRES:

Rolando Gerardo Ramírez Vega,

Mariela del Castillo Soto.

Gracias a los cuales inicie esta aventura. Además, está dedicada a mi hermano MIGUEL, a mis abuelos que desde el cielo han guiado cada uno de mis pasos:

MARIO, GRACIELA Y LUIS; a mi abuela que continua a mi lado EMMA.

Quiero dedicarla de igual manera a mi jefe Ismael quien me apoyo con el impulso para avanzar con el desarrollo de la misma y a la persona que estuvo en los momentos difíciles Tatiana.

A los cuales les dedico este trabajo de Tesis, para beneplácito, y orgullo de mi familia.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a DIOS, por iluminar mi camino y permitir que haya terminado con éxito mis estudios profesionales y concluya con lo más importante que es la tesis, GRACIAS.

Agradezco a mis padres Gerardo y Mariela, quienes depositaron en mí su confianza, me brindaron el apoyo y la oportunidad de alcanzar mi meta a través de su amor paternal y apoyo moral. También a mi tía Cecilia, por estar en todo momento apoyándome incondicionalmente en mis estudios y trabajo.

Agradezco también a la dirección de la enseñanza por parte de la mi alma mater y en especial a mi querida FIME.

A mis queridos docentes y a mi asesor Robinson por brindarme su amistad y apoyo desinteresado para la elaboración de este trabajo de Tesis.

Y cabe mencionar a mi jefe Ismael V. y los demás grandes profesionales con los que laboró que me apoyaron y me impulsan a crecer de manera profesional.

RESUMEN

Por la complejidad con la que se manejan los proyectos actualmente, donde se precisa la toma de decisiones bajo riesgo e incertidumbre de la viabilidad económica y factibilidad de la operación, se hace preciso el desarrollo y fortalecimiento de herramientas para el análisis de riesgos que estas conlleva y su aproximación de una forma al más alto nivel, dentro de lo que se conoce como control de proyectos.

Por ello, la presente investigación tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica y económica de la conversión de un camión minero CAT 793D, con el fin de maximizar el Valor Actual Neto **(VAN)** de la operación con niveles admisibles de riesgo y la Tasa Interna de Retorno **(TIR)** ofrezca porcentaje de beneficio aceptables para el proyecto y establecer el funcionamiento operativo de la conversión del camión son de los retos a exponer en la presente tesis.

Primero se realizará la revisión de la información disponible, donde se revisarán las situaciones de contexto nacional e internacional que servirán de base para el desarrollo del presente estudio. Además, conoceremos el consumo y costo anual de diésel por un camión minero, información con la cual se realiza el estudio de viabilidad económica del proyecto y se determinará si la rentabilidad sea superior a la tasa exigida para la inversión. En los siguientes capítulos se irá estableciendo los eventos operacionales que impactarían en la operación continua del camión CAT 793D, realizándose un estudio a los gastos asociados al daño de equipos. Asimismo, se establece la viabilidad del funcionamiento operativo de la conversión del camión mediante pruebas y su rendimiento.

Finalmente, se verá si la probabilidad del proyecto de conversión de camiones mineros genere las utilidades esperadas por los inversionistas. La decisión de invertir, o no, en el negocio dependerá del grado de oposición al riesgo presente en cada uno de los inversionistas.

Palabras Claves: Viabilidad Económica, VAN, TIR, Camión Minero CAT 793D.

ABSTRACT

Because of the complexity with which the projects are currently managed, where decision-making is required under risk and uncertainty of the economic viability and feasibility of the operation, it is necessary to develop and strengthen tools for the analysis of risk that these entails and their approximation in a form to the highest level, within what is known as project control.

Therefore, this research aims to analyses the technical and economic feasibility of converting a CAT 793D mining truck, in order to maximize the Net Present Value (**NPV**) of the operation with admissible levels of risk and the Internal Rate of Return (**IRR**) offer acceptable profit percentage for the project and establish the operational functioning of the truck conversion are of the challenges to expose in this thesis.

First, the available information will be reviewed, which will review the situations of national and international context that will serve as a basis for the development of this study. In addition, we will know the consumption and annual cost of diesel by a mining truck, information with which the economic viability study of the project is carried out and it will be determined if the profitability is superior to the rate required for the investment. In the following chapters, the operational events that would impact the continuous operation of the CAT 793D truck will be established, and a study will be made of the costs associated with the damage to equipment. In addition, the feasibility of the operational performance of the conversion of the tuck through tests and is performance is established.

Finally, it will be seen whether the probability of the mining truck conversion project generated the profits expected by investors. The decision to invest, or not, in the business will be depend on the level of risk opposition present in each of the investors.

Key Words: Economic viability, NPV, IRR, CAT 793D Mining Truck.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
CAPITULO II: MARCO TEORICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	18
2.2. DESARROLLO DE LA TEMÁTICA	21
2.2.1. CAMIÓN MINERO CAT 793D Y KIT DYNAMIC GAS BLENDING	21
2.2.2. CONSIDERACIONES NECESARIAS PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA.....	25
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	35
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION.....	35
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
3.2. POBLACIÓN	36
3.3. MUESTRA.....	36
3.4. HIPÓTESIS	37
3.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	37
3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	37
3.5. VARIABLES	37
3.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	37
3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	38
3.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	38
3.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.6.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	39
3.6.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	40
3.6.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	40

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
4.1. PROPUESTA DE CONVERSION DE UN CAMION MINERO DE SISTEMA DIÉSEL A UN SISTEMA COMBINADO DE DIESEL-GNL.....	41
4.1.1. CONTEXTO DE INFORMACIÓN GENERAL	41
4.1.2. CONTEXTO DE INTERVENCIÓN ESPECÍFICA.....	43
4.2. LÍNEA BASE DEL PROYECTO	44
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
5.1. CONSUMO Y COSTO ANUAL DE DIESEL PARA EL CAMIÓN MINERO CAT 793D	45
5.1.1. PRECIOS ESTIMADOS DIÉSEL	45
5.1.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL.....	45
5.1.3. COSTO TOTAL DEL DIÉSEL	46
5.2. REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA QUE EL MOTOR DE CAMION MINERO CAT 793D PUEDA FUNCIONAR EN UN SISTEMA DUAL.....	47
5.2.1. PARAMETROS DEL MOTOR ONLY DIESEL	47
5.2.2. SISTEMA DE CONVERSIÓN DUAL (KIT DGB).....	48
5.3. NUEVOS PARAMETROS DE OPERACIÓN CON LA CONVERSIÓN DEL CAMIÓN MINERO CAT 793D	51
5.3.1. PARAMETROS DEL SISTEMA DUAL	51
5.3.2. FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL CAMIÓN MINERO CAT 793D CON EL SISTEMA DE CONVERSION (KIT DGB)	52
5.4. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA	62
5.4.1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS	62
5.4.2. FACTIBILIDAD ECONÓMICA (SIN PROYECTO)	62
5.4.3. DEPRECIACIÓN E IMPUESTOS - INTERESES.....	63
5.4.4. PRECIOS ESTIMADOS COMPARATIVOS DIÉSEL / GNL.....	63
5.4.5. COSTOS Y PLAZOS ESTIMADOS PARA LA ADECUACIÓN DEL CAMIÓN MINERO	64
5.4.6. INVERSIÓN	65
5.4.7. DEPRECIACIÓN.....	65
5.4.8. COSTOS OPERATIVOS.....	66
5.4.9. FLUJO DE CAJA (CASH FLOW)	67
5.4.10. INGRESOS/AHORROS	71
5.4.11. EVALUACIÓN ECONÓMICA	72
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76

6.1. CONCLUSIONES.....	76
6.2. RECOMENDACIONES.....	77
CAPITULO VII:REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: CAMION MINERO CAT 793D.....	15
Figura 2: Kit DGB	20
Figura 3: Vista del Motor CAT 3516B EUI del Camión CAT 793D	22
Figura 4: Detalles del Componentes del Motor DGB	24
Figura 5: Esquema de Instalación del Sistema DGB	24
Figura 6: Diagrama del tiempo de Operación y fallas para determinado equipo que ha sido sometido a reparación.....	27
Figura 7: Inversiones Mineras según rubro	44
Figura 8: Sistema de Ignición del Kit DGB	48
Figura 9: Componentes del Kit DGB para el motor	49
Figura 10: Componentes del Motor DGB	49
Figura 11: Instalación en el motor del KIT DGB.....	50
Figura 12: Disponibilidad mecánica de camiones 793D (Diesel v Sistema DBG).....	54
Figura 13: Análisis de Factibilidad Técnica (Modo Diésel)	55
Figura 14: Análisis de Factibilidad Técnica (Kit DGB)	56
Figura 15: Análisis de Factibilidad Técnica (Modo Diésel)	57
Figura 16: Análisis de Factibilidad Técnica (Kit DGB)	58
Figura 17: Análisis de Factibilidad Técnica (Modo Diésel)	59
Figura 18: Análisis de Factibilidad Técnica (Kit DGB)	60
Figura 19: Análisis de sensibilidad (Comportamiento del VAN).....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción minera metálica (Dic 2019).....	18
Tabla 2: Operacionalización de Variable Independiente	38
Tabla 3: Operacionalización de Variable Dependiente	38
Tabla 4: Producción minera metálica (marzo 2020).....	42
Tabla 5: Precios estimados Diésel	45
Tabla 6: Consumo diario de Diésel	45
Tabla 7: Consumo de Diésel.....	45
Tabla 8: Costo del Diésel anual.....	46
Tabla 9: Parámetros Motor Diésel	47
Tabla 10: Parámetros Sistema Dual.....	51

Tabla 11: Información del camión minero (sin proyecto)	62
Tabla 12: Precios estimados Diésel / GNL	63
Tabla 13: Costos del Kit Caterpillar DGB	64
Tabla 14: Plazos de Adecuación del Kit Caterpillar DGB	64
Tabla 15: Inversión	65
Tabla 16: Valor de depreciación	65
Tabla 17: Costos Operativos	66
Tabla 18: Flujo de Caja (Parte 1)	68
Tabla 19: Flujo de Caja (Parte 2)	69
Tabla 20: Flujo de Caja (Parte 3)	69
Tabla 21: Flujo de Caja (Parte 4)	70
Tabla 22: Flujo de Caja (Parte 4)	70
Tabla 23: Flujo de Caja (Parte 4)	71
Tabla 24: Ingresos/Ahorros	71
Tabla 25: Flujos antes de Impuestos	72
Tabla 26: Depreciación e Impuestos	72
Tabla 27: Flujos después de Impuestos	73
Tabla 28: Evaluación de viabilidad económica	74
Tabla 29: Sensibilización de Inversión y Beneficio	75

INTRODUCCIÓN

En la región Ica, considerada una localidad minera, ubicada aproximadamente a 489 km al sudeste de Lima (capital del Perú), vía Panamericana Sur, a una altitud promedio de 800 m.s.n.m. y cuenta con dos grandes unidades mineras; y una de las cuales es una mina cuprífera la cual cuenta con una flota de camiones pesados, los cuales son utilizados para el transporte del mineral extraído, mineral que será procesado para ser finalmente exportado lo cual genera divisas para el país, siendo la actividad minera una gran fuente de empleo, y a su vez es un área importante en la zona sur del Perú.

Los camiones mineros CAT 793D de la flota cuentan con un motor diseñado para trabajar con combustible diésel, el cual genera que el motor requiera de mantenimientos periódicos ya que si no se hacen con regularidad podrían llegar a causar daños en el motor y además de generar gases altamente contaminantes. (GFS corp, 2019)

Por lo tanto, nace la necesidad en encontrar beneficios asociados, tales como son los operativos, económicos, energéticos y ambientales afines a la conversión de un camión minero CAT 793D a un sistema dual-fuel que le permita trabajar con GNL como combustible primario y brindarle diversos beneficios, tales como el mantener la misma eficiencia, aumentar su flexibilidad en la operación al no perder la opción de Diésel, reducir sus costos de mantenimiento, reducir costos en la operación y reducir los impactos al medio ambiente y seguridad. (GFS Corp, 2019)

Encontrando esta alternativa del uso de un sistema dual-fuel en camiones CAT 793D, se evaluará la viabilidad técnico-económica de la conversión de un motor Diesel de un camión minero a una operación combinada.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

La región Ica, considerada una localidad minera, cuenta con dos grandes unidades mineras; y una de las cuales cuenta con una flota de camiones mineros cuyo peso de los estos bordea alrededor de las 385 toneladas que están diseñados para trabajar con un motor Diésel CAT 3516B de 16 cilindros, y estos camiones pesados son los utilizados para el acarreo del mineral extraído. El consumo de Diésel de uno estos camiones es un aproximado 400 000 L por año; y estos motores Diésel requieren mantenimientos periódicos de 2,4 h/d, esta cantidad de horas dependerá mucho de lo programado por la unidad minera en su cronograma de mantenimiento; ya que si estos no se realizan con regularidad pueden llegar a causar daños en el motor y generar impactos en el plan de mina por la paralización del camión minero. Por lo que el problema surge en encontrar los beneficios asociados, tales como son los operativos, económicos, energéticos y ambientales vinculados a la conversión de un camión minero CAT 793D (ver Figura 1) a un sistema Dual-Fuel que le permita trabajar con GNL como combustible primario y brindarle diversos beneficios, como el mantener la misma eficiencia, aumentar su flexibilidad en la operación al no perder la opción de Diésel, reducir costos de mantenimiento (reducción de problema del sistema del sistema de combustible (inyectores, bombas, etc.) en un 70%), reducir costos en la operación y reducir los impactos al medio ambiente y seguridad.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Encontrándose en la situación problemática descrita anteriormente, nos preguntamos ¿Cómo podríamos lograr reducir los costos de combustible y al mismo tiempo mejorar el mantenimiento de los camiones?, partiendo de esta premisa podríamos decir: ¿Es viable técnica y económicamente implementar la alternativa del uso de un sistema dual-fuel en un

camión minero CAT 793D? (ver Figura 1). La materia del presente trabajo de tesis será evaluar la viabilidad técnico-económica de la conversión de un motor Diésel de uno de los camiones a una operación combinada.

Actualmente, se comprueba de modo breve los problemas que el Diésel causa en el motor y en el medio ambiente, es que mediante este proyecto también podrá servir de referencia para motivar a las distintas unidades mineras a utilizar este proyecto.

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se desarrollará en la región Ica, ubicada aproximadamente a 489 km al sudeste de Lima (capital del Perú), vía Panamericana Sur, a una altitud promedio de 800 m.s.n.m. En una unidad minera cuprífera la cual cuenta con una flota de camiones mineros CAT 793D (Ver Figura 1).

De esta flota de camiones mineros se tomará en como objeto de investigación a un camión CAT 793D (ver Figura 1) para realizar el estudio de viabilidad técnico-económica de la conversión de su motor Diesel a un sistema Dual-Fuel (Diesel-GNL).

Figura 1: CAMION MINERO CAT 793D





Fuente: Propia

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Con los costos que radican en el mantenimiento del motor de los camiones mineros debido al desgaste que se produce debido a la gran actividad a los que estos son sometidos, implican una gran carga para el motor y esto influye directamente en el rendimiento del mismo, para la gerencia de Mina y Procesos específicamente, es necesario mantener el óptimo rendimiento en los camiones y evitar cualquier tipo de pérdidas de horas efectivas, más aún si se trata de cualquier impacto en el OPEX del proyecto.

En este presente proyecto de investigación se justifica en el estudio de viabilidad técnico-económico que conlleva la conversión de un camión minero CAT 793D a un sistema dual-fuel (Diésel-GNL), y de esta manera obtener un camión con menos impacto en el mantenimiento y en la operación, con el fin de obtener un mismo rendimiento, conjuntamente reduciendo el mantenimiento del motor y el consumo de Diésel, siendo de esta manera un ahorro operativo para la unidad minera.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones de la presente investigación son debido a la coyuntura mundial debido al SARS-CoV-2 que ha afectado de manera importante al país, incluyendo a las indicaciones

de nuestro gobierno sobre la cuarentena en diversas regiones y lo referente a traslados interprovinciales a las zonas consideradas focos de infección del Covid-19, en este caso la zona de estudio que es la región Ica, la cual aún se encuentra en estado de cuarentena hacen que sea difícil el acceso a las instalaciones, pese a la autorización aprobada para realizar el estudio. Sin embargo, dichas limitaciones fueron superadas al tener comunicaciones directas con los gerentes de las áreas a la que he requerido la información y los datos necesarios para la realización del proyecto.

Por otra parte, la información recopilada es de carácter confidencial debido a las altas medidas de seguridad de información con las que cuenta la empresa y a las cuales me he visto en el compromiso de cumplirlas durante el desarrollo del proyecto.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnica y económicamente la conversión un camión minero CAT 793D a un sistema Dual-Fuel (Diesel-GNL) para reducir el OPEX de la unidad minera.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Definir el consumo y costo anual de Diésel para el camión minero CAT 793D.
- b) Establecer cuáles serían los requerimientos para que el motor pueda funcionar mediante un sistema Dual.
- c) Establecer cuáles serían los nuevos parámetros de operación con la conversión del camión (pruebas, rendimiento, etc.).
- d) Realizar el estudio de viabilidad económica.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Actualmente las mineras en nuestra región, tanto las minas que se hallan en su fase de creación, las que se hallan en fase de operación y las que se encuentran en su fase de cierre, se ven en la necesidad de asegurar la viabilidad económica de sus operaciones. Y debido al ascendente auge minero de nuestro país, según Minem (2019) **el análisis de estadística minera (ver Tabla 1)** al cierre del año 2019 en Perú, la producción nacional del cobre, plomo, hierro, estaño y molibdeno registraron un acrecentamiento de 0,8%, 6,6%, 6,1%, 6,7% y 8,6%, respectivamente, con relación semejante al periodo del año anterior (ESTAMIN, 2019). Es que así dentro de este contexto las empresas mineras optan cada vez más por ir adquiriendo maquinaria con tecnología de última generación que les permita ir disminuyendo sus costos operativos, no obstante, obteniendo el mismo o mayor rendimiento en sus operaciones.

Tabla 1: Producción minera metálica (Dic 2019)

Metal		Diciembre			Enero-Diciembre		
		2018	2019	Var. %	2018	2019	Var. %
Cobre	(TMF)	230 388	225 496	-2,1%	2 437 035	2 455 440	0,8%
Oro	(g finos)	11 672 409	10 063 064	-13,8%	140 210 984	128 413 463	-8,4%
Zinc	(TMF)	120 274	132 236	9,9%	1 474 383	1 404 382	-4,7%
Plata	(kg finos)	341 063	346 299	1,5%	4 160 162	3 860 306	-7,2%
Plomo	(TMF)	28 438	27 248	-4,2%	289 123	308 116	6,6%
Hierro	(TMF)	895 943	1 173 098	30,9%	9 533 871	10 120 007	6,1%
Estaño	(TMF)	1 696	1 770	4,3%	18 601	19 853	6,7%
Molibdeno	(TMF)	2 393	3 392	41,8%	28 034	30 441	8,6%

Fuente: Dirección de Gestión Minera, DGM / diciembre 2019

Elaboración: Dirección de Promoción Minera, DGPSM

La senda creciente que ha registrado las inversiones mineras en lo que va del año se ha mantenido en noviembre de 2019, siendo que, en el undécimo mes del año, las inversiones mineras sumaron \$620 millones, sobrepasando en 41,7% a lo alcanzado en el mismo mes del año anterior (US\$ 437 millones). (ESTAMN, 2019)

En lo que respecta a la inversión en equipamiento minero conservó en subida, adicionando US\$ 91 millones en el mes de noviembre, lo que significó un incremento interanual de 107,2% (ESTAMN, 2019). Lo que demuestra la gran aceptación por parte de las empresas en invertir en equipamientos mineros, los cuales se van actualizando conforme a los avances tecnológicos que se dan alrededor del mundo. (Okdiario, 2019)

Durante las últimas décadas ha exigido a las empresas mineras a fuertes ritmos de producción, esto debido a que el diseño de los equipos evolucionó y se fue perfeccionando con el tiempo hasta tomar las formas que hoy consideramos estándar. Estas evoluciones se han traducido en la intensificación de los rendimientos, mejor aprovechamiento energético y una disminución de costos. (GFS corp, 2015)

Cordova (2017) debido a esta evolución, con el fin de aprovechamiento energético y disminuir costos, en esta tesis se presentará el estudio de viabilidad conversión de un camión minero CAT 793D a un sistema de Diésel-GNL. Este sistema fue desarrollado por Caterpillar entre los años 2016-2017 para la industria minera con el objetivo de reemplazar un porcentaje importante del consumo de Diésel en los camiones, mediante la mezcla diésel-gas que podría reemplazar al Diésel entre 60% y 65% (Caterpillar, 2018). Dependiendo de ciertas condiciones como el perfil de acarreo y del factor de carga de la mina.

El Kit **Dynamic Gas Blending** (DGB) (ver Figura 2) para la flota de camiones 785C ha estado siendo probado en minas como La Herradura, México (02 camiones), una mina de fosfatos

en Idaho, EEUU. (01 camión) y una mina de oro en Tuprag, Turquía (02 camiones). Este Kit se encuentra en etapa de producción desde mayo del 2018.

El Kit DGB para camiones 793D se encuentra disponible desde junio del 2019, este ha sido probado en La Herradura, México (01 camión).

Figura 2: Kit DGB



Fuente: Cat Dual Fuel 793D DGB Mining Truck / agosto 2019

Con este sistema DGB automáticamente maximizas la cantidad usada de GNL desplazando al combustible Diésel, mientras mantienes el mismo rendimiento. Esto permitirá a la minera lograr el menor costo de combustible posible sin sacrificar la producción de la máquina, lo cual es el principal objetivo a demostrar en el presente proyecto.

Las empresas mineras mueven al mundo y se necesita mucho combustible para hacer esto posible. El sistema DGB puede mejorar drásticamente la rentabilidad de las operaciones mineras al reemplazar el combustible Diésel por una alternativa más sostenible y menos costosa. El gas natural es el combustible alternativo de más rápido crecimiento en el mundo hoy en día, con 20 millones de vehículos a gas natural que se espera que estén en la carretera en 2016 (GFS corp., 2016). Hasta el momento las grandes mineras solo podían esperar que esta tecnología evolucionara y pudiera ser parte de sus operaciones. Considerando que el GNL tiende a costar entre 25 a 50% menos que el combustible Diésel, además de que en el Perú se encuentra uno de los principales yacimientos de Gas Natural de América del Sur. Esto representaría una disminución considerable en el OPEX de la empresa minera. (ICUEE, 2015)

Con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento, la instalación del tanque cuenta con la Conformidad Europea (CE marking), cumple con los requerimientos ASME y está diseñado para soportar condiciones extremas. (Caterpillar, 2018)

2.2. DESARROLLO DE LA TEMÁTICA

2.2.1. CAMIÓN MINERO CAT 793D Y KIT DYNAMIC GAS BLENDING

2.2.1.1. Camión minero CAT 793D

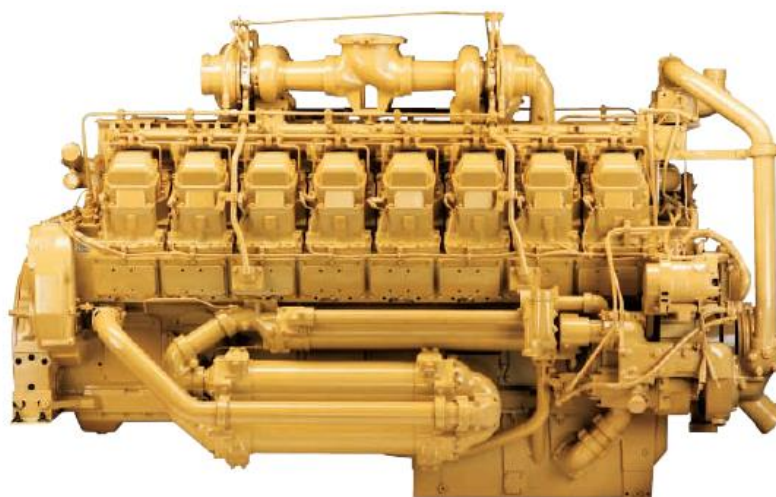
Como se ha explicado previamente la creciente demanda de minería en nuestro país requiere del uso de maquinaria de gran capacidad para las labores en planta, perforación y acarreo, y aquí es donde señalamos al camión CAT 793D, del cual realizaremos una breve descripción del motor, el cual es parte del objeto de estudio en la presente tesis. (Caterpillar, 2018)

El motor Diésel de alta cilindrada con un banco de 4 turbocompresores y posenfriador CAT 3516B EUI genera 5% más potencia, además de tener gran confiabilidad y eficiencia para conseguir un rendimiento más grande en las aplicaciones más adversas. (Seferino, 2019)

El motor 3516B EUI (ver Figura 3) tiene un diseño de 4 tiempos y 16 cilindros que usa carreras de potencia largas y eficaces para poder hacer una combustión más completa y una eficiencia óptima. Las altas cilindradas, bajas rpm nominales y las habilidades de potencia conservadora representan más tiempo en las rutas de transporte y menos tiempo en el taller. (Acuache, 2014)

Este motor cuenta con un sistema de inyección electrónica (EUI), el cual detecta las condiciones de operación y regula el abastecimiento de combustible para poder hacer una óptima eficiencia de combustible, además de optimizar los tiempos de contestación y quema con más eficiencia el combustible. (Echavarría, 2016)

Figura 3: Vista del Motor CAT 3516B EUI del Camión CAT 793D



Fuente: Catalogo Camión CAT - 2018

Elaboración: Caterpillar

2.2.1.2. Kit Dynamic Gas Blending (Kit DGB)

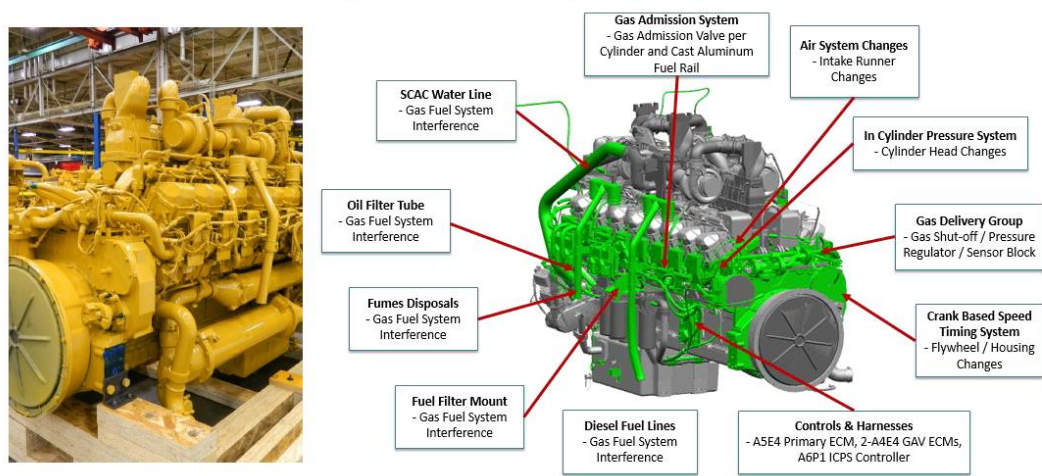
Esta tecnología fue creada entre los años 2016-2017 por Caterpillar para la industria minera con el objetivo de permitirle a los camiones funcionen automáticamente con ambos combustibles Diésel-GNL (Ver Figura 4). Con este sistema el Diésel es desplazado en un promedio del 60 – 65% mientras se mantiene el mismo rendimiento que con Diésel, sin embargo, de ser necesario el sistema volvería a funcionar con 100% Diésel. Actualmente, el sistema DGB ayuda a ampliar la vida del motor ya que el gas natural licuado (GNL) quema más limpio que el Diésel. (Anuario Minero, 2019)

El software de la tecnología en el motor y el tanque de combustible se comunican con el hardware para lograr la racionalidad y determinar los niveles de sustitución de rendimiento. Esto se realiza a través de DGB ECM Controls en el motor que están integrados con los controladores ECM Diésel.

Este sistema cuenta con un tanque de 2442 L (645 gal para el GNL) y 946 L (250 gal para el Diésel) (ver Figura 5), además otorga una reducción a problemas del sistema de combustible hasta en un 70% (inyectores, bombas, etc.). El costo de mantenimiento del Kit DGB es bajo (<5%) ya que utiliza componentes más simples. (Caterpillar, 2018)

Figura 4: Detalles del Componentes del Motor DGB

DGB Engine Components - Detail



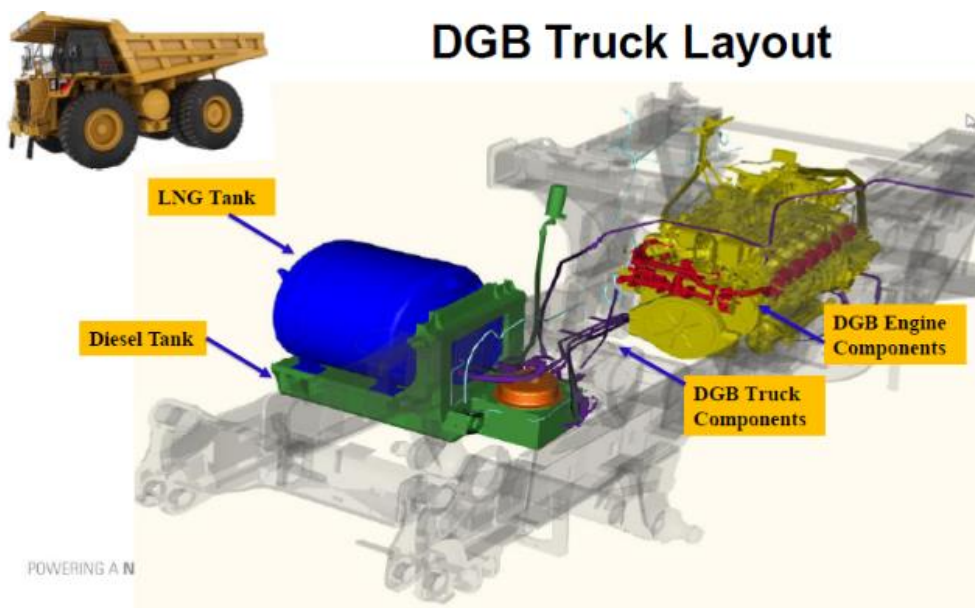
POWERING A NATURAL GAS FUTURE



Fuente: Cat Dual Fuel 793D DGB Mining Truck / agosto 2019

Elaboración: Caterpillar

Figura 5: Esquema de Instalación del Sistema DGB



POWERING A N

Caterpillar Confidential/Secret

Fuente: Cat Dual Fuel 793D DGB Mining Truck / agosto 2018

Elaboración: Caterpillar

2.2.2. CONSIDERACIONES NECESARIAS PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA

La viabilidad de un proyecto, según Garzón y Salazar (2015) sugiere que lo de mayor relevancia es planear y para lograr concluir el mismo resulta indispensable realizar una indagación completa, que conduzca al entendimiento de si este plan realmente aportará las ventajas que se esperan de él. En otros términos, es la decisión del triunfo o fracaso de un plan primordialmente por medio de la evaluación económica.

Hay muchas causas por las que se impulsa a realizar un análisis de viabilidad de un plan, ya que la ejecución de este análisis es una buena práctica empresarial y su aplicación puede observarse en el triunfo de los negocios. Además de reducir los peligros, el análisis de viabilidad ayuda a:

- Detectar las restricciones, limitaciones y supuestos.
- Identificar oportunidades.
- Conceptualizar los requisitos que configuran el plan.
- Permite la introducción de cambios en las superficies donde son requeridos.
- Sus conclusiones se deben encuadrar en la planificación y no tomarse como prioridades el buscar soluciones rápidas.
- Tomar la elección sobre proyectos, aprobándolos, rechazándolos o requiriendo una revisión del mismo o alguno de sus puntos.
- Detectar nuevas alternativas de negocio o **formas de perfeccionar resultados**.
- Establece **oportunidades de innovar**, mediante el proceso de investigación.
- Aumenta la perspectiva de éxito al descubrir los distintos factores que, desde el principio, podría afectar el proyecto y arruinar resultados.
- Asegurar la subvención de las instituciones de crédito y otras fuentes monetarias.

Gonzáles, Alba, & Ordieres (2014), ven a la **viabilidad técnica** de un proyecto como la condición que hace factible el funcionamiento del sistema, proyecto o idea al que este se refiere, satisfaciendo las características tecnológicas. Este análisis frecuente estar vinculado a la estabilidad y al control de lo cual se hará; esto podría ser, sus propiedades, funciones y características físicas y a cómo lo vamos a hacer.

La viabilidad económica es una de las magnitudes de la viabilidad del plan más relevante, ya que esta es definida por la diferencia entre el precio y beneficio del mismo, y con esto saber si el plan es capaz de crear beneficios y tener una productividad suficiente que compense los peligros en los cuales se va a incurrir. (Cámara, 2020)

Las consideraciones a tener en cuenta para realizar el estudio técnico y económico, son los que veremos a continuación.

2.2.2.1. Disponibilidad Mecánica

Esta se encuentra definida como la correlación de tiempo entre horas trabajadas y horas usadas en reparación en la cual un equipo se encuentra en condiciones de operar y realizar la función ha sido diseñado, en condiciones determinadas, en un instante dado o durante un intervalo de tiempo establecido.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

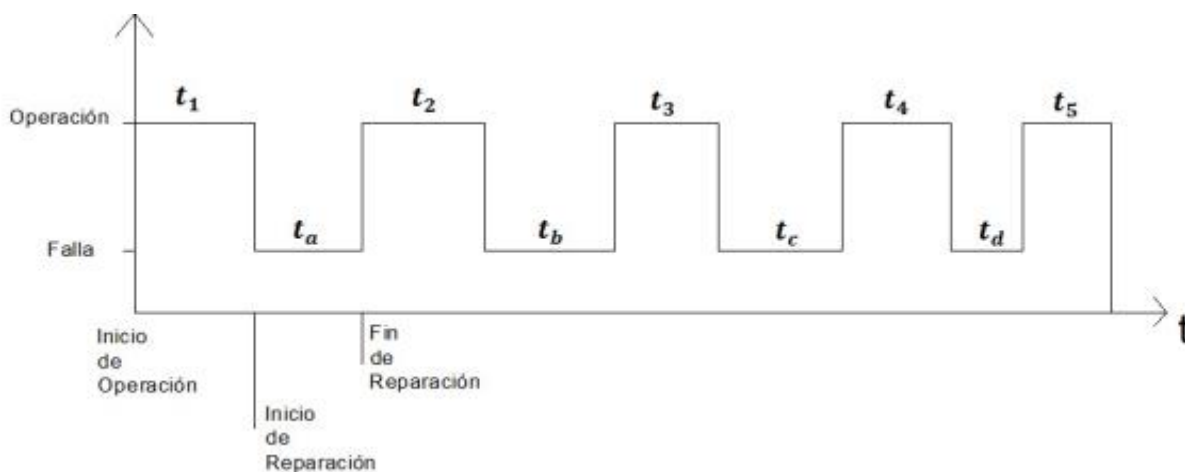
MTBF: Tiempo Medio entre fallas

MTTR: Tiempo Medio para Reparar

En los periodos de tiempo lo que no se incluye son las paradas planificadas ni paros por producción, solo se toma en consideración los tiempos relacionados con fallas de

equipos. La disponibilidad se encuentra entre valores de 0 y 1; mientras que el resultado se aproxime al 1 será positivo; en este aspecto, se puede mejorar el valor de la disponibilidad mejorando la confiabilidad (aumentando el MTBF) o mejorando la mantenibilidad (reduciendo el MTTR). (Figura 6).

Figura 6: Diagrama del tiempo de Operación y fallas para determinado equipo que ha sido sometido a reparación



- a. Tiempo promedio entre fallas (MTBF):** Indicador que muestra el tiempo promedio que la máquina trabaja antes de una parada por algún motivo mecánico. Proporciona información sobre la adecuada efectividad de la gestión del mantenimiento, además mide el grado de confiabilidad del equipo. (Zegarra, 2016). Para el cálculo de este indicador las paralizaciones pueden ser programadas y no programadas; sin embargo, se descartan las demoras operativas, cambio de turno, etc.

$$MTBF = \frac{\text{Horas de Operación}}{\text{Número de Paradas}}$$

Las buenas prácticas en labores mineras, recomiendan que este indicador oscile entre **60 y 80 horas** por parada en promedio. Los valores meta de este indicador

dependerán del tipo de máquina y de aplicación al que está sometida la máquina.
(Zegarra, 2016)

- b. Tiempo Promedio para Reparación (MTTR):** Indicador que evidencia el tiempo promedio que tardan las reparaciones o intervenciones a la máquina por motivos mecánicos. Este mide la calidad y eficiencia de las reparaciones, y permite evaluar el tiempo de indisponibilidad asociado a una específica falla inesperada. Proporciona información sobre la apropiada gestión del planeamiento y del taller, abarcando al área logística y otras áreas de la empresa implicadas con la atención de los recursos indispensables para la realización de los servicios.
(Zegarra, 2016).

Este indicador se calcula dividiendo las horas totales usadas en reparaciones en definido período entre el número de paradas que la máquina tuvo por motivos mecánicos en dicho ciclo. De igual manera no se contemplan las paradas operativas.

$$MTTR = \frac{\text{Horas de Reparaciones}}{\text{Número de Paradas}}$$

Las buenas prácticas de mantenimiento recomiendan que el valor promedio del indicador MTTR se oscile entre **3 y 6 horas**. La mantenibilidad describe el tiempo promedio de reparación, es decir, la aplicación de la acción correctiva sobre las fallas, pero dicho tiempo incluye factores que inciden directamente sobre éste. Algunos de estos factores son la mano de obra idónea, planificación (y programación) de actividades de mantenimiento, disponibilidad de materiales y repuestos y la accesibilidad para aplicar el mantenimiento. (Zegarra, 2016)

2.2.2.2. CAPEX¹ (*capital expenditure* o gasto en capital)

Hace referencia al gasto de capital que es necesario para la ejecución de un plan, en este además se implica el gasto de cierre de mina. El CAPEX son usados por una compañía para obtener o mejorar los activos fijos o bien incrementar el costo de los que ya hay, como por ejemplo equipamientos, inmuebles industriales, etc.

Se trata de la caja que una organización gestiona para conservar sus activos estables y en propicias condiciones.

2.2.2.3. OPEX² (*Operational expenditures* o gastos operacionales)

Se refiere al gasto operativo que se realiza de manera continua y cotidiana para la ejecución de un proyecto relacionándose al costo con las operaciones y servicios; incluyendo también los “overheads” o costos administrativos.

Una vez se tiene clasificado el total del presupuesto por centro de precio se proviene a reagruparlo sin tener en cuenta los montos del año en que se va a reportar las reservas y en funcionalidad al proceso operativo que hace o ayuda: Minado (Perforación y voladura, carguío y acarreo) y Procesos.

¹ <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2018/11/capex-su-importancia-para-las-proyecciones-financieras/>

² <https://whatis.techtarget.com/definition/OPEX-operational-expenditure>

2.2.2.4. Rentabilidad³

La rentabilidad de un plan se puede medir de muchas maneras diversas: en unidades monetarias, en porcentaje o en la época que demora la recuperación de la inversión, entre otras. Cada una de estas se apoyan en el término del costo tiempo asociado a los recursos que se aplican en el plan, así sea de posibilidad, si hay otras modalidades de uso del dinero, así sea financiado, se debería recurrir a un préstamo (Sevilla, 2015)

Se entiende como rentable aquella inversión en donde la sensibilización del resultado pueda adelantar o postergar la toma de decisiones, la cual proporcionará los datos significativos para determinar la rentabilidad de un proyecto. Para poder precisar la rentabilidad de una inversión, existen indicadores de rentabilidad tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) o el periodo de retorno. (Pérez, 2021)

La evaluación de un proyecto contrasta, si el flujo de caja proyectado permite al inversionista alcanzar la rentabilidad anhelada, además de recobrar la inversión. Los métodos más comunes son:

a. Valor Actual Neto⁴ (VAN)

Es un criterio de inversión mejor aceptado por los evaluadores de plan, se basa en actualizar los cobros y pagos de un plan o inversión para conocer cuánto se va a triunfar o perder con dicha inversión, en otros términos, mide la productividad deseada luego de recobrar toda la inversión. Para lo que, trae todos los flujos de caja

³ <https://economipedia.com/definiciones/rentabilidad.html>

⁴ <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

al instante presente descontándolos a un tipo de interés definido. (Conexiónesan, 2017)

Yupanqui (2014), menciona algunas consideraciones y conocer una serie de conceptos para deducir el Valor Actual Neto, los cuales son:

- ✓ **Horizonte del proyecto:** Este es expresado usualmente en años, en el que se está estima las ganancias, así como los precios del proyecto para evaluarlos.
- ✓ **Tipo o Tasa de descuento:** Es una tasa de “interés” que se usa para quitar o modificar las ganancias futuras y precios futuros (percibidos en el horizonte del proyecto).
- ✓ **Actualización de ingresos y costos futuros:** Estima el costo actual o presente, teniendo como referencias los valores a futuro, principalmente se hace por años.

Quispe (2018) indica que el Valor Actual Neto (VAN), es un procedimiento que admite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja producidos por una inversión. Se le define en otras palabras como la diferencia entre ingresos y egresos (incluido en estos esta la inversión) a valores actualizados.

El Valor Actual Neto es simplemente la suma actualizada al presente de todos los beneficios, costos e inversiones del proyecto. A efectos prácticos, es la suma de flujos netos a cada periodo.

Lagos (2010) Este método es el más conocido y el más aceptado. Después de recuperar todas las inversiones, mide la rentabilidad del proyecto con un valor monetario superior a la rentabilidad esperada. Para hacer esto, calcula el valor presente de todos los flujos de efectivo futuros proyectados en el primer período operativo y reste la inversión total expresada en cero.

Se utiliza para la valoración de distintas operaciones de inversión. Debido a que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener mayor ganancia.

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_t}{(1+k)^t} \right) \dots (4)$$

Donde:

F_t = Flujos de dinero en cada periodo t .

I_0 = Inversión realizada en el momento inicial ($t = 0$).

n = Número de periodos de tiempo.

k = Tipo o tasa de descuento o tipo de interés exigido a la inversión: costo de oportunidad.

El VAN o NPV (en inglés Net Present Value) sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y, en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos.

Sí, $VAN > 0$, indicará cuanto se gana con el proyecto, después de recobrase la inversión, por sobre la tasa k que se exigía de retorno al proyecto; si el resultado fuera $VAN = 0$, muestra que el proyecto de inversión no generará beneficios ni pérdidas, siendo únicamente para recobrar el capital invertido; y si el $VAN < 0$, este mostrará el monto que falta para ganar la tasa que se ansiaba conseguir, en otras palabras, el proyecto de inversión generará perdidas, por lo que debería ser descalificado.

b. Tasa Interna de Retorno⁵ (TIR)

Es una medida que se utiliza para evaluar proyectos de inversión que están estrechamente relacionados con el valor actual neto (VAN). Para proyectos de inversión, se denomina valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea cero. (Sevilla, 2014)

Yupanqui (2014) expone a la Tasa Interna de Retorno (TIR), como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

El mismo autor señaló que la TIR es una tasa de descuento. Cuando actualiza el ingreso neto (la diferencia entre el ingreso estimado para cada período dentro del alcance del proyecto menos el costo estimado), este (la suma del ingreso neto actualizado) es igual a 0.

Nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada como porcentaje.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \left(\frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \right) \dots (5)$$

Donde:

$VAN = 0$

F_t = Flujos de dinero en cada periodo t (Flujo de Caja)

I_0 = Inversión realizada en el momento inicial ($t = 0$).

n = Número de periodos de tiempo.

⁵ <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

Yupanqui (2014) Indica que la TIR es una tasa de descuento, para encontrarla se debe resolver una ecuación polinómica de grado n , donde n es el alcance del proyecto.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Acorde a la naturaleza del presente trabajo de investigación y por las características presentes en el estudio de este proyecto es de tipo descriptivo, se describe la evaluación técnica y económica de la conversión de un camión minero a un sistema dual Diésel-GNL.

La metodología consiste en definir el consumo y costo al año de diésel en un camión minero y la inversión requerida para la conversión del camión, de igual modo el presente proyecto recopila las condiciones metodológicas de una investigación básica, en razón que se han utilizado conocimientos de ciencias económicas y mecánicas, garantizando la viabilidad de un análisis apropiado de los costos de las operaciones unitarias y con el fin de conseguir los objetivos que fueron trazados se aplicó en el procedimiento el tipo de investigación descriptiva.

Además, la metodología también consistió en evaluar los eventos operacionales que impactan en la operación del camión, los gastos asociados al daño de equipos, así como la viabilidad del funcionamiento operativo, procediéndose a determinar su viabilidad técnica y económica.

a) Método

En el trabajo de investigación actual se utilizan métodos de investigación descriptivos. Analizar la viabilidad económica de un proyecto específico, porque tiene como objetivo utilizar las herramientas o técnicas necesarias para medir o recolectar información de

forma independiente sobre las variables involucradas en el proyecto, y tiene la siguiente secuencia (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

- Elección del tema de investigación.
- Definición del problema.
- Revisión de bibliografía.
- Formular hipótesis.
- Desarrollar diseño de investigación.
- Recolección de datos.
- Análisis de datos.
- Conclusiones.

3.2. POBLACIÓN

La población para el presente trabajo de investigación está constituida por la unidad motriz (camión minero CAT 793D).

3.3. MUESTRA

La muestra es una muestra poblacional.

3.4. HIPÓTESIS

3.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Es viable técnica y económicamente la conversión de un camión minero Diésel a un sistema combinado, de forma que logremos disminuir el costo anual de consumo de Diésel y reducir el mantenimiento del motor del camión minero CAT 793D.

3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- a) Al establecer los indicadores del Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), y flujo de caja, se podrá determinar la viabilidad económica de la conversión de un camión minero.
- b) Al conocer el rendimiento obtenido con la conversión del camión minero, se podrá determinar la viabilidad técnica de la conversión.

3.5. VARIABLES

3.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Viabilidad técnica y económica (VAN Y TIR)

Según **Hernández, Fernández y Baptista (2010)** menciona que las variables independientes son aquellas que pueden ser manipuladas de manera intencional con el fin de medir el efecto que éstas tengan sobre la variable dependiente, por lo que respecto a la Viabilidad técnico-económica es una variable independiente, así como también esta es una variable cuantitativa, puesto a que ha sido medida numéricamente, ya que se obtuvieron valores numéricos con decimales y porcentuales.

3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Conversión de un camión minero Diésel a Diésel-GNL

Según **Hernández, Fernández y Baptista (2010)**, indican para la descripción de las variables dependientes no se manipulan, sino que estas se miden para ver el efecto que influye la variable independiente tiene sobre esta, por lo que la Conversión de un Camión Minero Diésel a Diésel-GNL es una variable dependiente

3.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2: Operacionalización de Variable Independiente

Variable Independiente					
Variable	Indicadores	Subindicadores	Índices	Técnicas de Recolección de Datos	Instrumentos de Recolección de Datos
Viabilidad Técnica Económica	VAN	$VAN > 0$		Análisis de información	Hoja de cálculo
	TIR	$TIR > k^*$	%	Análisis de información	Hoja de cálculo

*"k" es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN.

Tabla 2 Elaboración Propia

Tabla 3: Operacionalización de Variable Dependiente

Variable Dependiente					
Variable	Indicadores	Subindicadores	Índices	Técnicas de Recolección de Datos	Instrumentos de Recolección de Datos
Conversión de un camión minero Diésel a Diésel-GNL	Factor de Carga	$f.c.$	%	Análisis de Información	Hoja de cálculo

Tabla 3 Elaboración Propia

3.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.6.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

a) Método Analítico

Esta investigación, es analítica, debido a que su fin ha sido describir y detallar los elementos que intervienen en cada una de las variables, descomponiendo la información para una mejor comprensión. **Ramos Chagoya Ena. (2008). *Métodos y técnicas de investigación*.**

La misma creadora sugiere, el estudio que se hace en el objeto desde la interacción existente entre los recursos que componen el objeto como un todo; y simultáneamente, la síntesis se crea sobre la base de los resultados pasados del estudio

Además, incluye dentro de la investigación cálculos analíticos usando formulas, relacionadas al estudio de viabilidad económica.

b) Método hipotético-deductivo

Del mismo modo la investigación sería hipotético-deductivo, puesto que se formula una hipótesis como consecuencia de la percepción de un conjunto de datos empíricos o de principios y leyes más generales. Lo que llevo a alcanzar conclusiones particulares a partir de dicha hipótesis, para luego ser contrastar la información, mediante procedimientos científicos o experimentales. **Ramos Chagoya Ena. (2008). *Métodos y técnicas de investigación*.**

3.6.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

a) Recolección de Datos

Para el presente estudio se han utilizado reportes de costos unitarios, información del consumo y rendimiento del camión con Diésel e información sobre el sistema de conversión de camiones mineros.

3.6.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los procedimientos e instrumentos se aplicaron de acuerdo a lo siguiente:

- ✓ Cuadros de cálculos de costos.
- ✓ Revisión de los datos.
- ✓ Información de flujo de caja, reporte de costos, consumo y rendimiento.
- ✓ Cálculo del VAN y TIR, se utilizó el software Excel para los análisis correspondientes.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. PROPUESTA DE CONVERSION DE UN CAMION MINERO DE SISTEMA DIÉSEL A UN SISTEMA COMBINADO DE DIESEL-GNL

4.1.1. CONTEXTO DE INFORMACIÓN GENERAL

Para poder determinar el contexto general de entrada del proyecto, nos basaremos inicialmente en la realidad de la minería peruana actual y su creciente desarrollo en los últimos años.

Según el MINEM (2019) al mes de marzo de 2020, la producción nacional de zinc, hierro y molibdeno reconoció un crecimiento de 3,9%, 22,6% y 24,5%, respectivamente, con relación al mismo periodo del año anterior. Sin embargo, debido a la declaración de Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que perjudican la vida de la Nación a resultado del brote del COVID-19 en el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM, donde las unidades mineras están conservando únicamente actividades críticas con personal mínimo operativo, a fin de evitar la transmisión del virus y mantener las instalaciones listas para el reinicio de actividades, esta situación ha causado que la producción del cobre, oro, plata, plomo y estaño disminuyan en relación al mismo periodo.

Tabla 4: Producción minera metálica (marzo 2020)

Metal		Marzo			Enero-Marzo		
		2019	2020	Var. %	2019	2020	Var. %
Cobre	(TMF)	209 864	154 020	-26,6%	586 975	515 209	-12,2%
Oro	(g finos)	11 003 726	7 423 595	-32,5%	31 739 058	26 275 696	-17,2%
Zinc	(TMF)	118 008	103 754	-12,1%	327 381	340 128	3,9%
Plata	(kg finos)	313 745	215 580	-31,3%	871 174	840 180	-3,6%
Plomo	(TMF)	24 480	20 640	-15,7%	69 709	65 353	-6,2%
Hierro	(TMF)	801 479	461 505	-42,4%	1 988 252	2 438 058	22,6%
Estaño	(TMF)	1 841	1 134	-38,4%	5 045	4 978	-1,3%
Molibdeno	(TMF)	2 011	2 391	18,9%	5 718	7 119	24,5%

Fuente: Dirección de Gestión Minera, DGM / marzo 2020

Elaboración: Dirección de Promoción Minera, DGPSM

Esta situación de contingencia nacional ha llevado a las unidades mineras del país a generar pérdidas respecto a su producción estimada y además golpeando fuertemente en sus flujos de caja.

Por otra parte, otro impacto fuerte en la industria minera del país, es la cotización promedio de los principales metales industriales, la cual muestra una contracción interanual generada por la incertidumbre internacional en torno al impacto económico generado por las medidas de aislamiento obligatorio instauradas por las principales potencias con el fin de lidiar con la pandemia del COVID-19 declarada el 11 de marzo por la Organización Mundial de la Salud.

Específicamente, el cobre, zinc, plata y plomo, alcanzaron cotizaciones promedio inferiores a las consignadas el mismo mes del año anterior en 20%, 33%, 3% y 15%. Por

otra parte, el oro, se mantuvo como valor refugio y resguardo su valor en medio de la coyuntura global, alcanzó una cotización promedio superior en 22%. MINEM (2019)

De esta manera, se analizaría que las empresas mineras este año no se han encontrado con una muy buena posición, en consecuencia, conllevaría a una gran inversión en planta beneficio y equipamiento minero para poder aumentar la producción significativamente, además de recurrir a buscar alternativas de mejora con la finalidad de reducir costos operativos y mejorar eficiencia.

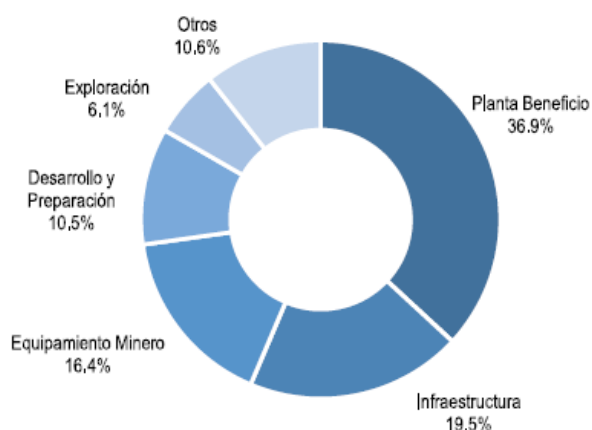
4.1.2. CONTEXTO DE INTERVENCIÓN ESPECÍFICA

Si bien es cierto, que las empresas mineras buscarán nuevas alternativas de inversión para generar ganancias, estas alternativas deben ser económicamente y técnicamente viables, con el fin de obtener el objetivo planeado por la Unidad Minera (UM).

Teniendo en cuenta que el porcentaje de participación de inversiones mineras en el rubro de Planta Beneficio y Equipamiento Minero en el mes de abril han sido de un 36,9% y 16,4% respectivamente, las cuales han sido las más destacadas en el primer trimestre del año, según MINEM (2019).

Figura 7: Inversiones Mineras según rubro

2020: Inversiones mineras según rubro (participación %)



Fuente: Declaración Estadística Mensual (ESTAMIN) - MINEM/ abril 2020

Elaboración: Dirección de Promoción Minera, DGPSM

4.2. LÍNEA BASE DEL PROYECTO

La línea base de la propuesta de la conversión del camión minero, tendrá en consideración la viabilidad técnica-económica enfocándose en los puntos clave como son los costos fijos operativos del camión minero, finalizando con la factibilidad del proyecto para lograr disminuir el consumo de combustible Diésel generando reducciones de costos, fiabilidad en la operación del camión y al mismo tiempo mantener el rendimiento.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONSUMO Y COSTO ANUAL DE DIESEL PARA EL CAMIÓN MINERO CAT 793D

5.1.1. PRECIOS ESTIMADOS DIÉSEL

Tabla 5: Precios estimados Diésel

<u>Fuel Cost Component</u>	<u>USD por litro</u>	<u>USD por MMBtu</u>
Diesel	\$ 1,10	\$ 19,55

Nota: Precio referencial: Plum Energy (junio 2019)

Fuente: Plum Energy (junio 2019)

Elaboración: Propia

5.1.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL

Tabla 6: Consumo diario de Diésel

<i>Consumo por día del Camión (Litros)</i>	1 075,10
<i>Consumo por día del Camión (Galones)</i>	284,01

Fuente: Datos de Gerencia de Mantenimiento de U.M. de estudio

Elaboración: Propia

Tabla 7: Consumo de Diésel

<i>Consumo total de combustible (anual)</i>	L	392 412
<i>Consumo de combustible por hora</i>	L/h	172

Fuente: Datos de Gerencia de Mantenimiento de U.M. de estudio

Elaboración: Propia

5.1.3. COSTO TOTAL DEL DIÉSEL

Tabla 8: Costo del Diésel anual

	UND	Cantidad
<i>Consumo total de combustible (anual)</i>	L	392 412
<i>Costo por litro</i>	US\$/L	1,10
<i>Total (anual)</i>	US\$	431 653,20

Elaboración: Propia

Se determina que el consumo anual de Diésel del camión minero CAT 793D es de **392 412** litros por año, lo que considerando que el costo por litro de Diésel es de US\$ 1,10, daría como costo total del consumo de Diésel del camión CAT 793D sería de US\$ 431 653,20 por año.

5.2. REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA QUE EL MOTOR DE CAMION MINERO CAT 793D PUEDA FUNCIONAR EN UN SISTEMA DUAL

5.2.1. PARAMETROS DEL MOTOR ONLY DIESEL

Se deberá reconocer los parámetros con el que funciona el motor en el sistema convencional de Diésel, para tener la idea de cuáles serían los cambios que variarían con respecto a la conversión del sistema dual, en la tabla 9 podremos observar los parámetros con los que trabaja el motor con sistema Diésel:

Tabla 9: Parámetros Motor Diésel

Parámetros	Unidades	793D
Volumen Neto del Tanque de Diésel	L (Gal)	4354 (1150)
Consumo de Combustible Diésel	L	392,412
Velocidad media del Camión	km/h (MPH)	12,72 (7,91)
Velocidad máxima del Camión	km/h (MPH)	37,81 (23,5)
Horas de Mantenimiento	h/d	2,4
Disponibilidad mecánica	%	92,1

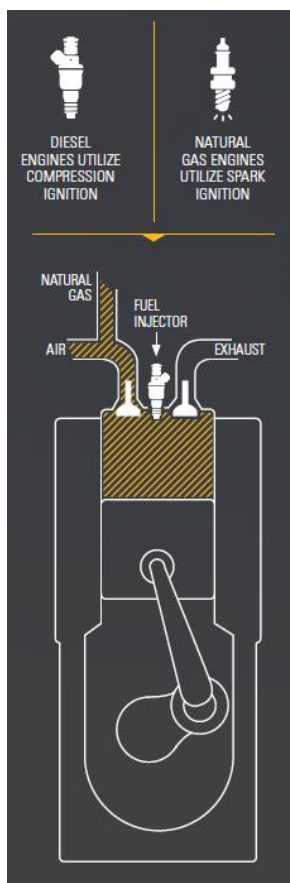
Elaboración: Propia

Fuente: Datos de Investigación

5.2.2. SISTEMA DE CONVERSIÓN DUAL (KIT DGB)

La tecnología del Kit DGB ofrece la combinación en el sistema de ignición del motor, esto debido a que normalmente los motores diésel utilizan la ignición por compresión que causa el calentamiento del combustible y los motores de gas natural utilizan la ignición por chispa.

Figura 8: Sistema de Ignición del Kit DGB

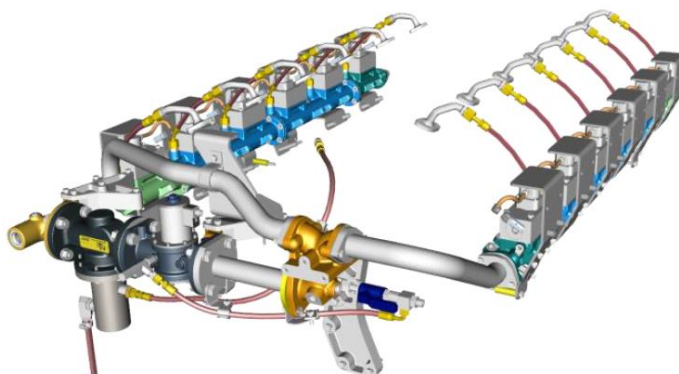


Elaboración: Caterpillar

Fuente: Kit DGB Specification Sheet, Caterpillar 2018

La tecnología DGB funciona automáticamente con ambos combustibles y desplaza al diésel con el GNL que se almacena en el camión. Esto debido a componentes instalados y adaptados en el motor.

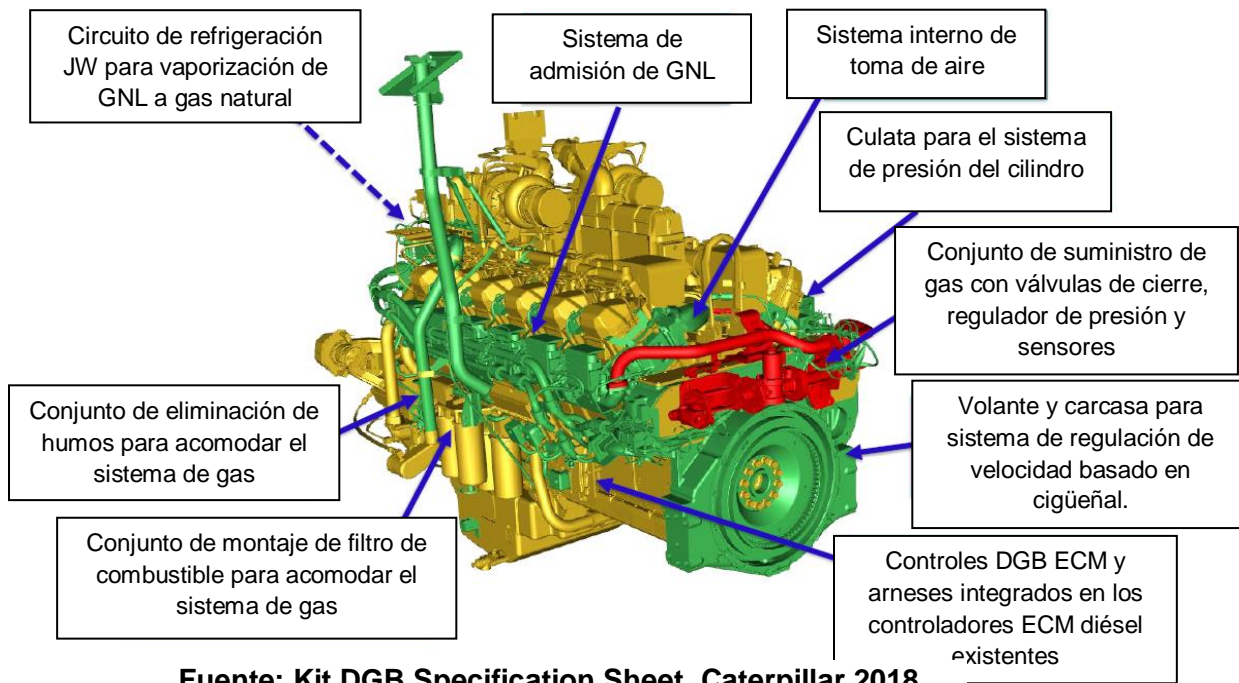
Figura 9: Componentes del Kit DGB para el motor



Fuente: Kit DGB Specification Sheet, Caterpillar 2018

La tecnología del software en el motor y en el tanque de combustible se comunica con el hardware para establecer la relación y determinar los niveles de sustitución de rendimiento. Esta comunicación se realiza a través del **Módulo de Control Electrónico** (o ECM, por sus siglas en inglés *Electronic Control Module*) en el motor que está integrado con los controladores **ECM diésel**.

Figura 10: Componentes del Motor DGB



Fuente: Kit DGB Specification Sheet, Caterpillar 2018

El software en el motor se comunica directamente con el tanque de combustible DGB, integrándose con ambas fuentes de combustible Diésel y GNL, tiene un economizador/regulador que optimiza las fuentes de combustible mientras la maquina se encuentre operativa. La instalación del tanque es simple y esta cuenta con la certificación europea (CE), cumpliendo también con todos los requisitos ASME

Figura 11: Instalación en el motor del KIT DGB



Fuente: Kit DGB Specification Sheet, Caterpillar 2018

5.3. NUEVOS PARAMETROS DE OPERACIÓN CON LA CONVERSIÓN DEL CAMIÓN

MINERO CAT 793D

5.3.1. PARAMETROS DEL SISTEMA DUAL

Reemplazar el tanque de diésel por dos tanques: uno de diésel de 946 litros y un segundo de 2442 litros para el GNL, tendrá un tiempo estimado de 10 días en el taller.

Reemplazo de componentes en el motor como: culatas y líneas de combustible, el tiempo estimado será de 60 días.

Instalación de componentes del sistema DGB en el camión, como: módulos, líneas, filtros, etc., contará con un tiempo estimado de 15 días. El desarrollo de estos cambios conllevará a un total estimado de 85 días para la implementación del Kit DGB.

Los nuevos parámetros de funcionamiento con los que operaría luego de la conversión al sistema dual (Diésel-GNL) el camión minero CAT 793D, que se está tomando como muestra de estudio, se encuentran indicados en la tabla 10:

Tabla 10: Parámetros Sistema Dual

Parámetros	Unidades	793D
Volumen Neto del Tanque de GNL	L (Gal)	2442 (645)
Volumen Neto del Tanque de Diésel	L (Gal)	946 (250)
Consumo de combustible Diésel	L	176,585
Consumo de combustible GNL	L	215,827
Velocidad media del Camión	km/h (MPH)	12,93
Velocidad máxima del Camión	km/h (MPH)	38,62
Horas de Mantenimiento	h/d	2,0
Disponibilidad mecánica	%	92,5
Presión mínima del Tanque de GNL	kPa (PSI)	600 (85)

Máximo tiempo de llenado del Tanque de GNL	min	15
Flujo recomendado de dispensación del GNL	LPM (GPM)	379 (100)
Mínimo número de Metano del Gas Natural	MN	80
Máximo contenido inerte	%	5
Temperatura mínima del GNL	°C(°F)	-135 (-211)
Temperatura máxima del GNL	°C(°F)	-125 (-193)

Elaboración: Propia

Fuente: Datos de Investigación

Se puede observar luego de ser acoplado el sistema de conversión al motor, habiendo hecho el cambio del tanque de combustible, la instalación de los componentes de sistema DGB al camión (ECM, líneas y filtros) y reemplazo de componentes en el motor, tales como: la culata y líneas de combustible. Sin embargo, pese a estas modificaciones no sufre variaciones sustanciales en lo que respecta a operatividad y a su rendimiento.

5.3.2. FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL CAMIÓN MINERO CAT 793D CON EL SISTEMA DE CONVERSION (KIT DGB)

Debido a que esta tecnología aún no se encuentra disponible dentro del país, los estudios de factibilidad técnica han sido probados dentro del centro de entrenamiento Caterpillar “Tinajas” ubicado en Tucson y dentro de las instalaciones de la Herradura en México en camiones pesados CAT 793D.

El tanque diésel/gas es de 100% acero (no sufre corrosión), su tiempo de vida estimado es de 3 PCR (3 vidas de motor) y se debe realizar el mantenimiento cada 1000 horas.

- **DISPONIBILIDAD MECÁNICA**

Es recomendable que este indicador se encuentre alrededor de **86 a 98%** para equipos pesados de minera. Caterpillar certifica sus equipos a responder dentro de los parámetros recomendados para su operación en condiciones óptimas, al igual que los parámetros con los que operará con el Kit DGB (potencia nominal, reserva de par, calibre, carrera, cilindrada), estos parámetros del motor no se verán afectados.

Las pruebas se han realizado dentro de las instalaciones de la Mina La Herradura en Sonora, México; el mantenimiento para el camión minero CAT 793D con el KIT DGB se realiza cada **500 horas** con **25000 horas de operación**.

Para el camión con el Kit DGB (CA-0060) se han realizado en el semestre **17 paradas de mantenimiento** con un total de **2032 horas de mantenimiento en el periodo semestral de pruebas**. Por consiguiente, para determinar la disponibilidad mecánica (CA-0060) en el periodo determinado para las pruebas es la siguiente:

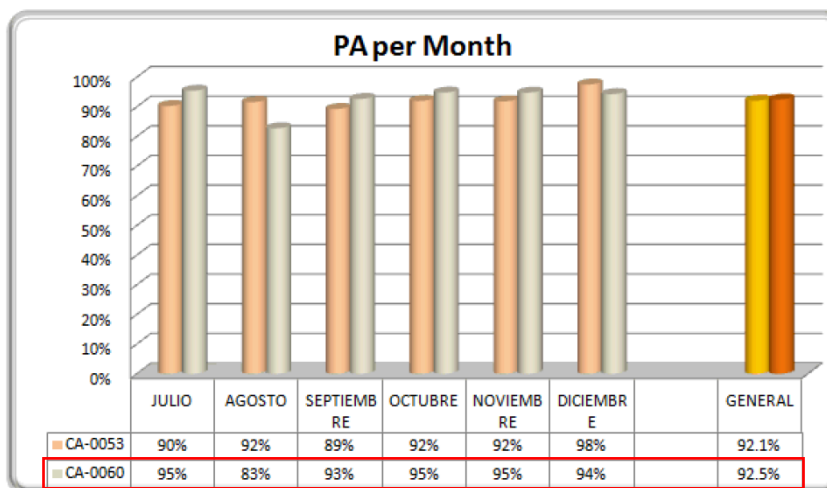
$$MTBF = \frac{\text{Horas de Operación}}{\text{Número de Paradas}} = \frac{25\,000}{17} = 1470,59$$

$$MTTR = \frac{\text{Horas de Reparaciones}}{\text{Número de Paradas}} = \frac{2032}{17} = 119,53$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% = \frac{1470,59}{1470,59 + 119,53} \times 100\% = 92,5\%$$

Figura 12: Disponibilidad mecánica de camiones 793D (Diesel v Sistema DBG)

EQUIPO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	GENERAL
CA-0053	90%	92%	89%	92%	92%	98%	92.1%
CA-0060	95%	83%	93%	95%	95%	94%	92.5%

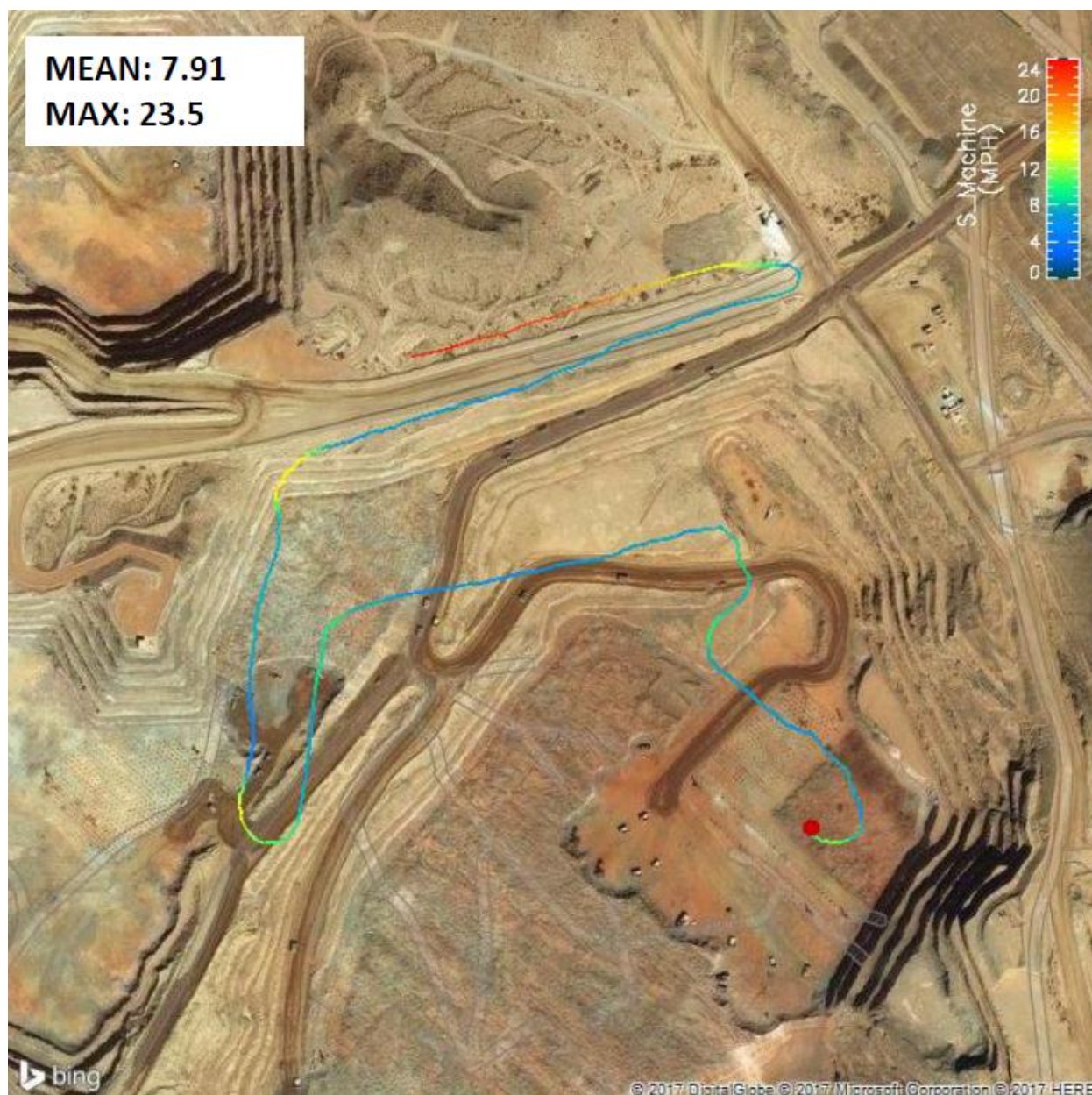


Elaboración: Caterpillar – Performance Test (La Herradura-México) – agosto 2019

Fuente: Datos de Investigación

- VELOCIDAD DE LA MAQUINA (MPH)

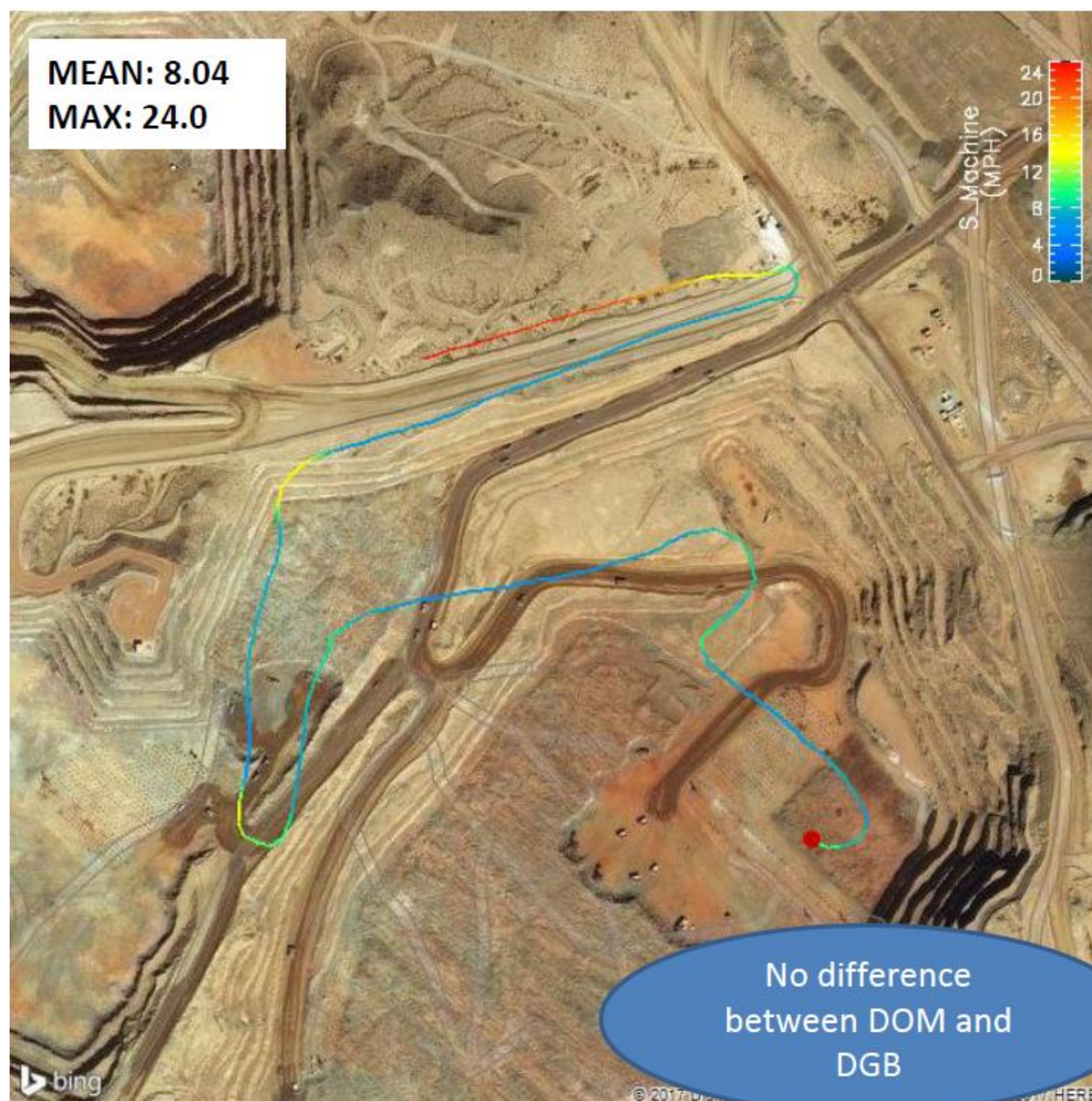
Figura 13: Análisis de Factibilidad Técnica (Modo Diésel)



Elaboración: Caterpillar – Performance Test (La Herradura-México) – agosto 2019

Fuente: Datos de Investigación

Figura 14: Análisis de Factibilidad Técnica (Kit DGB)

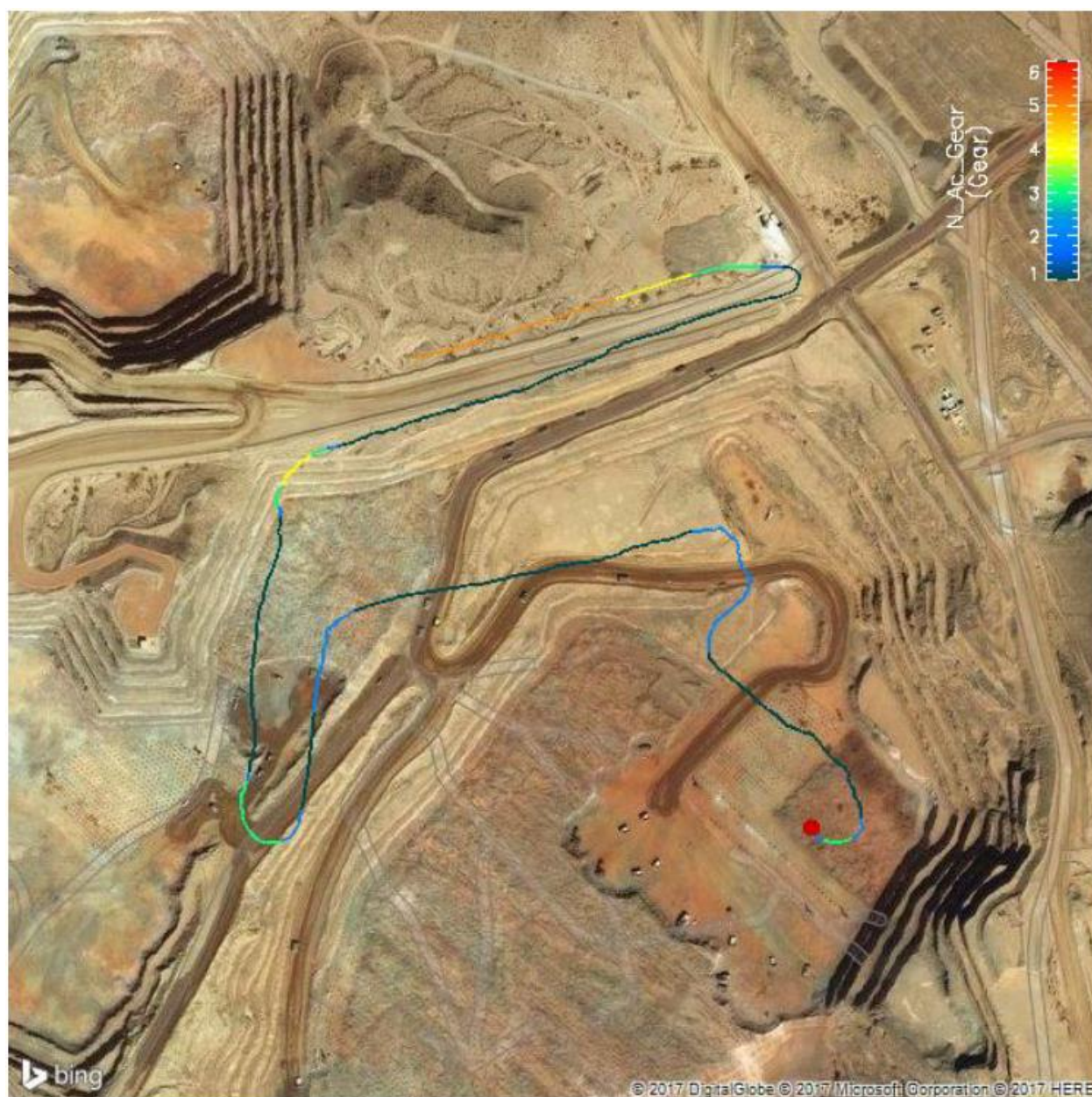


Elaboración: Caterpillar – Performance Test (La Herradura-México) – agosto 2019

Fuente: Datos de Investigación

- GEAR

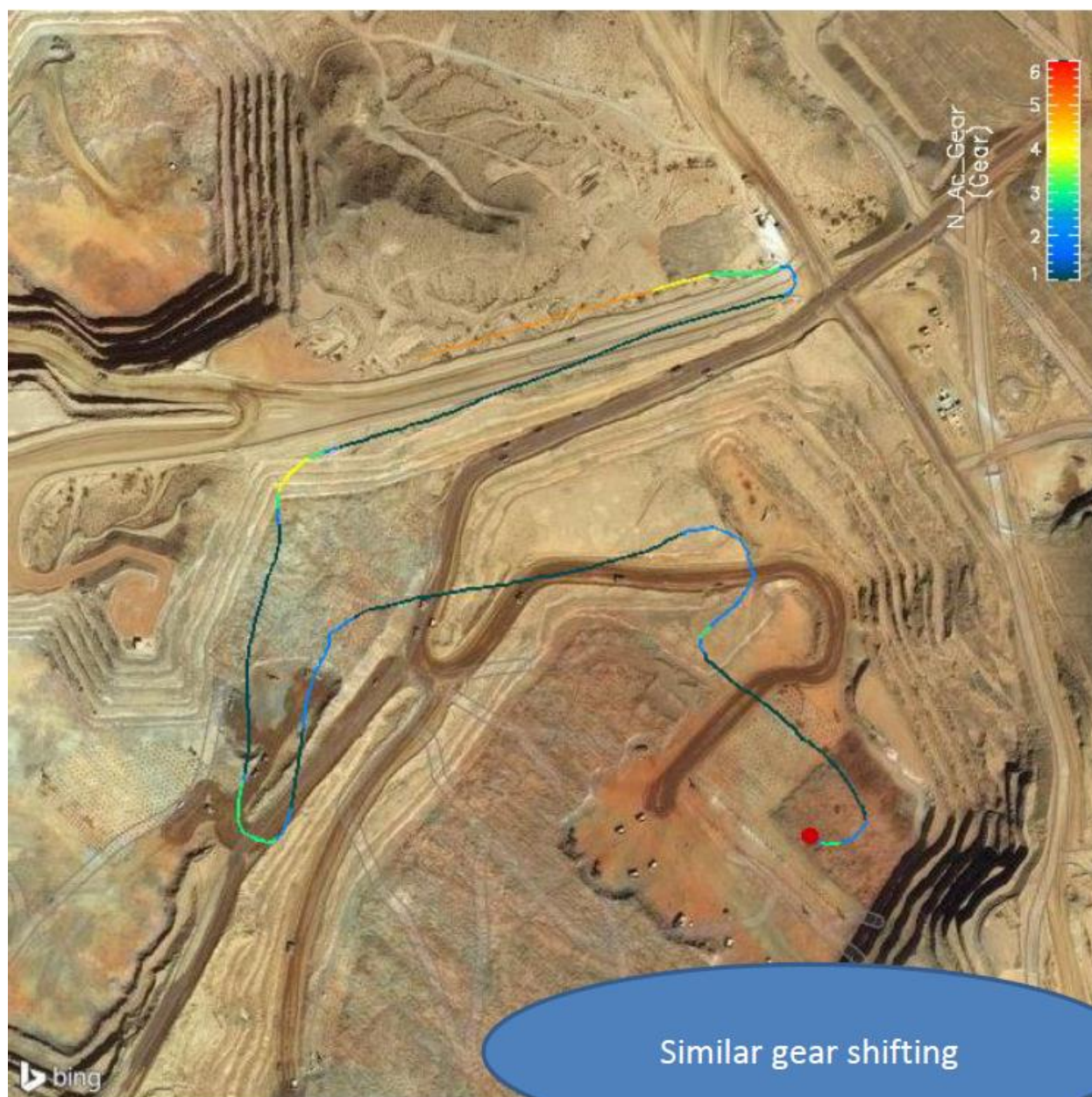
Figura 15: Análisis de Factibilidad Técnica (Modo Diésel)



Elaboración: Caterpillar – Performance Test (La Herradura-México) – agosto 2019

Fuente: Datos de Investigación

Figura 16: Análisis de Factibilidad Técnica (Kit DGB)

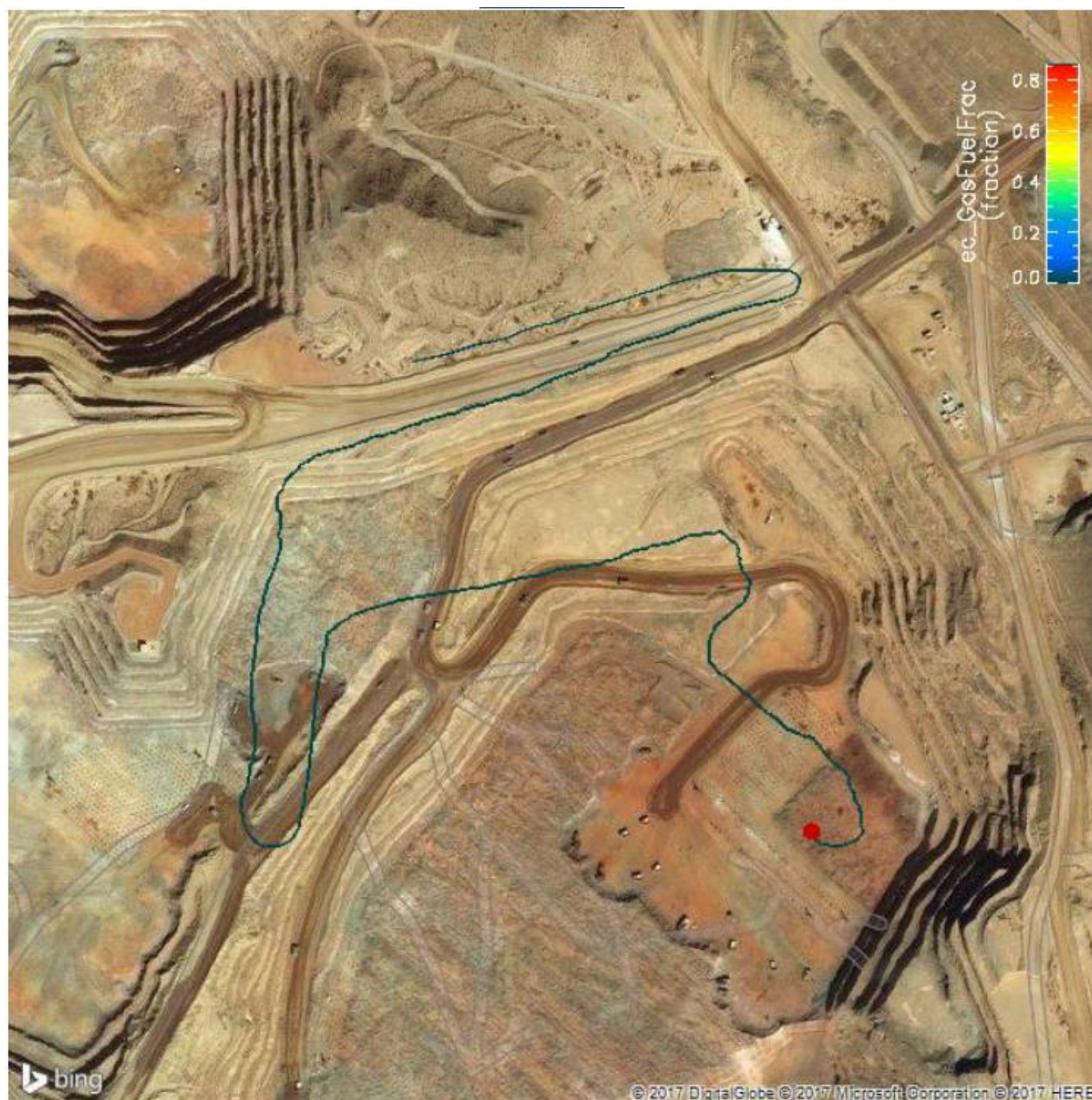


Elaboración: Caterpillar – Performance Test (La Herradura-México) – agosto 2019

Fuente: Datos de Investigación

- SUBSTITUCIÓN DEL GAS

Figura 17: Análisis de Factibilidad Técnica (Modo Diésel)



Elaboración: Caterpillar – Performance Test (La Herradura-México) – agosto 2019

Fuente: Datos de Investigación

Figura 18: Análisis de Factibilidad Técnica (Kit DGB)



Elaboración: Caterpillar – Performance Test (La Herradura-México) – agosto 2019

Fuente: Datos de Investigación

Con esto se pudo demostrar, que la operatividad del camión minero CAT 793D no son modificadas, debido a que no existen cambios sustanciales en lo que respecta al rendimiento del camión entre el uso convencional de solo Diésel y el sistema conversión con el kit DGB. Ambos pueden rendir del mismo modo, sin embargo, usando el GNL

reducirá el impacto que comúnmente tiene el combustible Diésel sobre el motor, reduciendo las horas de mantenimiento de 2,4 horas/día a tan solo 2,0 horas/día, de esta manera, se puede decir que el proyecto es técnicamente viable. (Rodríguez, 2019)

5.4. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA

5.4.1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Como consideración básica, para este sustento económico deberá entenderse como los parámetros necesarios para determinar la viabilidad de la conversión de un camión pesado CAT 793D es factible bajo la implementación de un KIT Caterpillar DGB (Dynamic Gas Blending).

De igual manera, se deberá entender que este sustento económico describirá solamente los aspectos más importantes de la viabilidad de la conversión, sin entrar en detalles de los elementos menores.

En adición, cabe mencionar que este sustento está basado sobre los valores de un camión pesado CAT 793D (costos de combustible, precio unitario, consumo total de combustible, factor de carga del motor, horas totales requeridas de trabajo).

5.4.2. FACTIBILIDAD ECONÓMICA (SIN PROYECTO)

Información General

Tabla 11: Información del camión minero (sin proyecto)

	UND	Cantidad
<i>Camión Extracción Cat 793D</i>	#	1
<i>Horas de Acarreo</i>	h	247
<i>Factor de carga del motor (promedio mensual)</i>	%	27
<i>Consumo total de combustible (anual)</i>	L	392 412
<i>Consumo de combustible por hora (anual)</i>	L/h	172
<i>Precio unitario Diesel</i>	US\$	1,10
<i>Costo total de Combustible</i>	US\$	431 653,20
<i>Horas de mantenimiento (anual)</i>	h	876

<i>Costo de mantenimiento</i>	US\$/h	6,00
<i>Costo de mantenimiento del camión (anual)</i>	US\$	5 256

Fuente: Datos de Gerencia de Mantenimiento de U.M. de estudio

Elaboración: Propia

5.4.3. DEPRECIACIÓN E IMPUESTOS - INTERESES

- Cantidad de años para depreciación: 5 años
- Impuesto efectivo: 40,00%
- Tasa de Interés – TCEA: 8,00%

Nota: La información ha sido brindada por el área de planeamiento de la U.M de estudio.

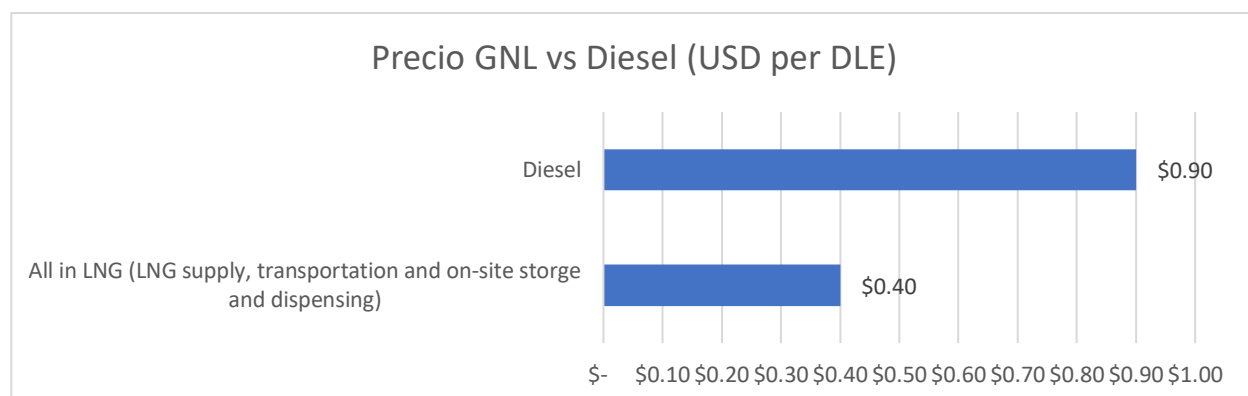
5.4.4. PRECIOS ESTIMADOS COMPARATIVOS DIÉSEL / GNL

Tabla 12: Precios estimados Diésel / GNL

<u>Fuel Cost Component</u>	<u>USD per DLE*</u>	<u>USD per MMBtu</u>
All in LNG (LNG supply, transportation and on-site storage and dispensing)	\$ 0,40	\$ 10,88
Diesel	\$ 1,10	\$ 19,55

Nota: Precio referencial: Plum Energy (junio 2019)

*DLE: diésel litre equivalent (equivalente a litros diésel)



Fuente: Plum Energy (junio 2019)

Elaboración: Propia

5.4.5. COSTOS Y PLAZOS ESTIMADOS PARA LA ADECUACIÓN DEL CAMIÓN MINERO

a) Costos

Tabla 13: Costos del Kit Caterpillar DGB

<u>Descripción Equipos</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Valor Venta unitario</u> <u>USD</u>	<u>Total USD</u>
Kit de modificación Diesel - Diesel/GNL	1	\$ 650 000,00	\$ 650 000,00

Nota: Precio referencial: Caterpillar (diciembre 2019)

Fuente: Caterpillar (diciembre 2019)

Elaboración: Propia

b) Plazos

Tabla 14: Plazos de Adecuación del Kit Caterpillar DGB

<u>Descripción Equipos</u>	<u>Plazo</u>	<u>Comentario</u>
Conversión del motor	60 a 70 días	Para el motor
Adecuación de la carrocería	15 días	Por el camión (en sitio)

Nota: Información referencial: Caterpillar (diciembre 2019)

Fuente: Caterpillar (diciembre 2019)

Elaboración: Propia

5.4.6. INVERSIÓN

Tabla 15: Inversión

INVERSIÓN			
Nombre	Costo US\$	Cantidad Unidad	Importe US\$
Sistema DGB (2019 shipments, 3% after)	\$ 669 500,00	1	\$ 669 500,00
Herramientas varias	\$ 50 000,00	1	\$ 50 000,00
Capacitación	\$ 20 000,00	1	\$ 20 000,00
Total		US\$	\$ 739 500,00

Fuente: Datos de Gerencia de Planeamiento de U. M. de estudio

Elaboración: Propia

5.4.7. DEPRECIACIÓN

Tabla 16: Valor de depreciación

VALOR DE DEPRECIACIÓN					
Equipamiento	Costo US\$	Cantidad Unitaria	Importe US\$	Valor a Depreciar	Depreciación lineal (Años)
Sistema DGB	\$ 669 500,00	1	\$ 669 500,00	\$ 133 900	5

Fuente: Datos de Gerencia de Planeamiento de U. M. de estudio

Elaboración: Propia

5.4.8. COSTOS OPERATIVOS

Tabla 17: Costos Operativos

Periodo	Año	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Horas Acarreo	h	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964
Número de camiones	#	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Horas de Mantenimiento	h	876	876	876	876	876	876	876	876	876	876
Costo por Mantenimiento	US\$	5 256	5 256	5 256	5 256	5 256	5 912	5 912	5 912	5 912	5 912
Consumo de combustible (Diésel)	L	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412
Consumo de combustible por hora	L/h	172	170	177	181	179	163	178	162	206	211
Consumo de combustible por tonelada	L/t	0,251	0,252	0,277	0,310	0,299	0,295	0,308	0,256	0,308	0,372

Horas programadas de Mantenimiento

2,4

Consumo por día del camión (Litros)

1 075,10

Consumo por día del camión (Galones)

284,01

**Costo de mantenimiento US\$/h

\$ 6,00

Fuente: Datos de Gerencia de Mina de U.M de estudio

Elaboración: Propia

5.4.9. FLUJO DE CAJA (CASH FLOW)

El flujo de caja se ha usado para decidir el costo presente de las ganancias y egresos de dinero. Esto se necesita ya que los flujos de fondos en diferentes periodos no tienen la posibilidad de ser comprados de manera directa puesto a que no es lo mismo disponer de una proporción de dinero ahora, que en el futuro.

Según Paul Lira Briceño, una vez que se evalúa un plan, la proyección de flujo de caja, es de esencial trascendencia para la toma de elecciones, puesto que sabremos cuanto va a ser el dinero que quedará. Por consiguiente, el conocimiento cómo construirlo puede representar la diferencia entre el triunfo y la derrota del proyecto.

Los flujos de caja realizados para el siguiente estudio son estimaciones y, por consiguiente, tienen dentro cierta incertidumbre sobre el cumplimiento de dichos cobros. Del mismo modo, por bastante buenas que sean las estimaciones presentadas, las condiciones del plan que se analizará puede modificar extremadamente en cualquier escenario.

Tabla 18: Flujo de Caja (Parte 1)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Periodo		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Horas de Camiones	h/año	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964	2 964
Diesel Burn Rate	L/h	172	170	177	181	179	163	178	162	206	211
100% Uso Diesel	L	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412	392 412
Program. De Inst. KIT DGB	#unidades	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gas Use (55%)	L (DLE)	215 827	215 827	215 827	215 827	215 827	215 827	215 827	215 827	215 827	215 827
	gal	95 289	95 289	95 289	95 289	95 289	95 289	95 289	95 289	95 289	95 289
	gpd	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261
Substituted Diesel Use	L	176 585	176 585	176 585	176 585	176 585	176 585	176 585	176 585	176 585	176 585

*DLE: Diésel Litre Equivalent (Equivalente a litros diésel)

*gpd: Galones por día

El porcentaje de uso de gas será del 55%.

Fuente: Datos de Gerencia de Planeamiento de U.M de estudio

Elaboración: Propia

Tabla 19: Flujo de Caja (Parte 2)

Delivered Diesel Price

		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Mine Plan Budget \$4,40/gal	\$ por Gal	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16
	\$ por Litro	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10

***Factor de conversión de galones a litros es de 3,785.**

Fuente: Datos de Gerencia de Mantenimiento de U.M de estudio

Elaboración: Propia

Delivered LNG Price & Storage

Tabla 20: Flujo de Caja (Parte 3)

		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
LNG, transportation, storage	\$ por Litro	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	\$ por Gal	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
	\$ por MMBtu	10,88	10,88	10,88	10,88	10,88	10,88	10,88	10,88	10,88	10,88

***Factor de conversión de galones a litros es de 3,785.**

Fuente: Precios referenciales de Plum Energy (junio 2019)

Elaboración: Propia

Costos solo Diésel

Tabla 21: Flujo de Caja (Parte 4)

		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Fuel Cost	\$	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20	\$431653,20

*Resultados se obtienen del producto entre el costo \$ por Litro (Delivered Diesel Price) y 100% Uso de Diesel.

Elaboración: Propia

Costos Combustibles - Cat DGB

Tabla 22: Flujo de Caja (Parte 4)

		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gas	\$	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64	\$86 330,64
Diesel	\$	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94	\$194243,94
Total	\$	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58	\$280574,58

*Resultados obtenidos del producto entre \$ por Litro (Delivered LNG Price) y Gas Use.

Elaboración: Propia

Mantenimiento KIT DGB

Tabla 23: Flujo de Caja (Parte 4)

		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Mtto. Costos	\$	\$5256	\$5256	\$5256	\$5256	\$5256	\$5912	\$5912	\$5912	\$5912	\$5912
Costos. Op	\$	\$1965									
Implementación (Adecuación y conversión)	\$	\$510									
Herramientas	\$	\$50 000									
Capacitación	\$	\$20 000									

Elaboración: Propia

5.4.10. INGRESOS/AHORROS

Tabla 24: Ingresos/Ahorros

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ahorro en Combustible	\$	\$151 079	\$151 079	\$151 079	\$151 079	\$151 079	\$151 079	\$151 079	\$151 079	\$151 079	\$151 079

*** Resultados obtenidos de la diferencia entre Costos solo Diesel y Total de Costos Combustibles – Cat DGB.**

Elaboración: Propia

5.4.11. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Flujos antes de Impuestos

Tabla 25: Flujos antes de Impuestos

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Flujo de Caja de Operación		73 348	145 823	145 823	145 823	145 823	145 167	145 167	145 167	145 167	145 167
Flujo de Caja Neto No Actualizado	-669 500	73 348	145 823	145 823	145 823	145 823	145 167	145 167	145 167	145 167	145 167
Flujo de Caja Neto Actualizado	-669 500	67 914	125 019	115 759	107 184	99 244	91 480	84 703	78 429	72 619	67 240
Flujo de Caja Neto Actualizado Acumulado	-669 500	-601 586	-476 566	-360 807	-253 623	-154 379	-62 899	21 804	100 233	172 852	240 093

Fuente: Datos de Investigación

Depreciación e Impuestos

Tabla 26: Depreciación e Impuestos

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Depreciación Lineal (5 años)		-133 900	-133 900	-133 900	-133 900	-133 900	-133 900	-133 900	-133 900	-133 900	-133 900
Flujo de Caja Operacional		73 348	145 823	145 823	145 823	145 823	145 167	145 167	145 167	145 167	145 167
Flujo de Caja (Sin Depreciación)		-60 552	11 923	11 923	11 923	11 923	11 267	11 267	11 267	11 267	11 267
Impuesto Efectivo @ 40%		-24 221	4 769	4 769	4 769	4 769	4 507	4 507	4 507	4 507	4 507

Fuente: Datos de Investigación

Flujos después de Impuesto

Tabla 27: Flujos después de Impuestos

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Inversión	-669 500										
Costo Beneficio		73 348	145 823	145 823	145 823	145 823	145 167	145 167	145 167	145 167	145 167
Impuesto Efectivo		24 221	-4 769	-4 769	-4 769	-4 769	-4 507	-4 507	-4 507	-4 507	-4 507
Flujo de Caja Neto No Actualizado	-669 500	97 569	141 054	141 054	141 054	141 054	140 660	140 660	140 660	140 660	140 660
Flujo de Caja Neto Actualizado	-669 500	90 341	120 931	111 973	103 679	95 999	88 640	82 074	75 994	70 365	65 153
Flujo de Caja Neto Actualizado Acumulado	-669 500	-579 159	-458 228	-346 255	-242 577	-146 578	-57 938	24 136	100 130	170 495	235 648

Fuente: Datos de Investigación

Evaluación de viabilidad económica

Tabla 28: Evaluación de viabilidad económica

PARÁMETROS	PROYECTO	COMENTARIOS
VIDA DEL PROYECTO	10 años	
VAN	US\$ 235 647,5	VAN mayor que cero, es aceptada la inversión. VAN negativo, se rechaza la inversión.
TIR	15,00%	Tasa de retorno a la que se recupera la inversión. Es aceptable si es mayor a: 8%
IVAN	US\$ 0,35	El proyecto obtiene US\$0,36 adicionales por cada dólar
PAYBACK	6,7 años	

Fuente: Datos de Investigación

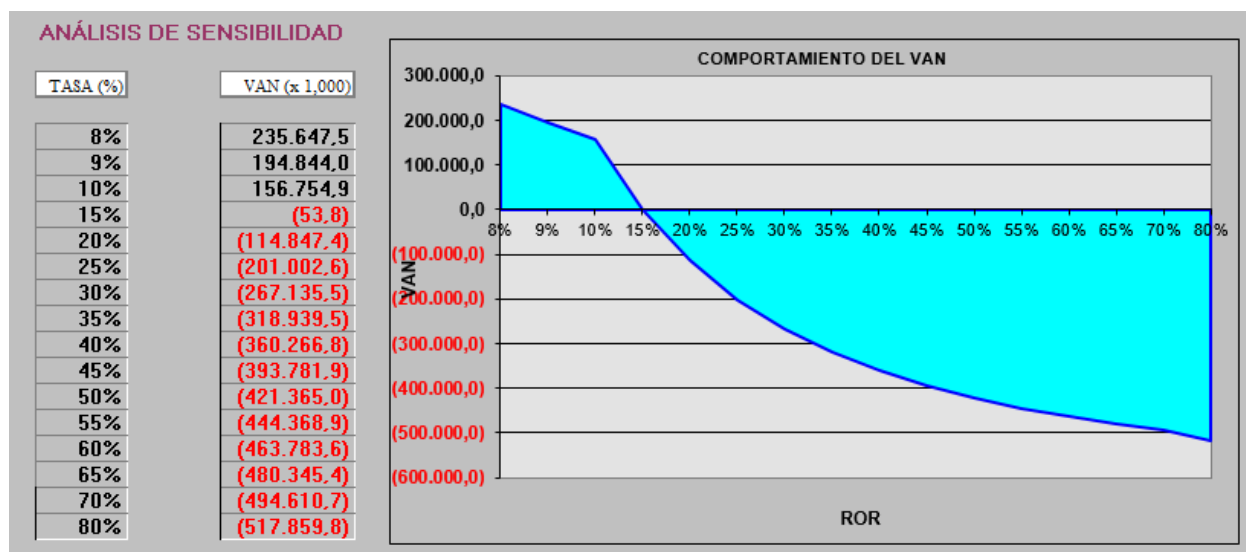
Como hemos visto, la evaluación de viabilidad económica del proyecto nos muestra que nuestro proyecto es **económicamente viable**.

Análisis de Sensibilidad

Este modelo determina el cambio máximo que puede resistir el valor de una variable relevante para mantener el proyecto atractivo para el inversionista.

En nuestro caso estudiaremos la sensibilidad del caso base. Generando casos a **+/-10** a nuestra inversión y a nuestro beneficio; además, representaremos el comportamiento del VAN modificando nuestras tasas de retorno (que en nuestro **caso base es de 8%**).

Figura 19: Análisis de sensibilidad (Comportamiento del VAN)



Elaboración: Propia

Fuente: Datos de Investigación

Tabla 29: Sensibilización de Inversión y Beneficio

	SENSIBILIZACIÓN DE INVERSIÓN		SENSIBILIZACIÓN AL BENEFICIO	
	-10%	+10%	-10%	+10%
VAN	US\$ 266 658,3	US\$ 257 068,4	US\$ 174 822,5	US\$ 302 096,9
TIR	16,64%	14,91%	13,27%	16,81%
IVAN	US\$0,44	US\$0,35	US\$0,26	US\$0,45
PAYBACK	6,2 años	6,7 años	6,2 años	6,7 años

Fuente: Datos de Investigación

Notamos que con el comportamiento del VAN que al aumentar la Tasa de Retorno por encima del 15% los resultados mostrarían un gran grado de incertidumbre suficientemente importante para que el proyecto sea reestructurado.

Por otra parte, en la sensibilización de la inversión y del beneficio en un +/-10%, podemos observar que los resultados siguen siendo atractivos para un caso base de negocio. El cuál sería una inversión que generaría ingresos a la empresa.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

En este capítulo se observará las principales conclusiones determinadas en la conversión del camión minero CAT 793D, las cuales se detallan a continuación:

- Se definió cuanto era el consumo anual y costo de combustible diésel de un camión minero CAT 793D, obteniéndose que anualmente consume 392 412 litros de diésel y considerándose un costo de US\$ 1,10 por litro, se dedujo que el costo anual de combustible sería de US\$ 431 653,20.
- Se demostró que con el sistema de conversión (Kit DGB) no afectaría la operación continua del camión minero, debido a que este podría trabajar con una disponibilidad mecánica de 92,5%, siendo esta mayor a la que se trabajaría con el motor solo Diésel siendo de 92,1%
- En cuanto a la viabilidad técnica, se concluye que la conversión del camión minero, no sufre variaciones sustanciales en lo que respecta a su rendimiento y operatividad, ya que se demostró que la **disponibilidad mecánica** con la conversión sería de **92,5 %**, con **velocidades media y máxima de 12,93 y 38,62 km/h** respectivamente y con el sistema convencional la **disponibilidad mecánica** se encontraría en un **92,1%**, con **velocidades media y máxima de 12,73 y 37,81 km/h** respectivamente; sin embargo, si influye mucho en el tiempo de mantenimiento del camión, debido a que con el sistema de conversión solo se requerirían 2,0 h/d.
- Se evaluó la viabilidad económica y técnica de la conversión de un camión minero a un sistema dual fuel, se logró determinar que el Valor Actual Neto (VAN) que se

obtuvo fue US\$ 235 647,5, y se encuentra dentro del rango de valores necesarios para hacer que este proyecto sea atractivo para los inversores.

- Con respecto a la tasa interna de retorno (TIR), se obtuvo un porcentaje de 15,00%; porcentaje considerable para demostrar la viabilidad del presente proyecto y la recuperación de la inversión será en 6,7 años.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la visión macro de la conversión incluyendo no solo de un camión de la flota, sino realizarlo en toda la flota de camiones mineros con los que dispondrá por el tiempo de la vida útil de la Unidad Minera en estudio.
- Definir el sistema de abastecimiento del gas, revisando las siguientes opciones:
 - ✓ Construir una estación de combustible propia para la unidad minera, que podría ser financiada por la empresa y/o por el proveedor de combustible.
 - ✓ Realizar el proyecto de abastecimiento de gas de forma conjunta con otros interesados, de manera que el proveedor podría construir una planta cercana y abastecer a los potenciales clientes.
- Afinar los costos de CAPEX y de Operación.
- Se recomienda dar permanente capacitación a los técnicos de ensamblaje en procesos de mejora continua para poder alcanzar los resultados esperados, de ser requerido realizar visitas a las minas donde ya se encuentre implementado el sistema para realizar una mejor evaluación.
- Debido a la cantidad de camiones existentes en la flota de camiones mineros durante el tiempo de vida del proyecto, se recomienda comprar el KIT DGB paulatinamente, de acuerdo a requerimientos de producción.

CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acuache, Q. A. (2014). *Selección de camiones mineros para la explotación de 125 millones de toneladas de mineral para el proyecto minero Shahuindo*. Lima.
- Anuario Minero. (2019). Documento elaborado por la dirección de promoción Minera. *Promoción y Sostenibilidad Minera*. Obtenido de <http://www.gob.pe/minem>
- Cámara. (31 de Octubre de 2020). *Viabilidad Económica de un Proyecto*. Obtenido de <https://www.mba-asturias.com/empresas/viabilidad-economica-proyecto-empresarial/>
- Caterpillar. (2018). *Specalog for Camión de minería 793D, ASHQ5600*. Obtenido de Catalogo camión minero CAT: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10549350>
- Conexiónesan. (24 de Enero de 2017). *Fundamentos financieros: El valor actual neto (VAN)*. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- Cordova, A. G. (2017). *Mejoramiento de práctica operacionales para el aumento de horas efectivas camiones de extracción gerencia mina, división ministro Hales Codelco Chile*. Santiago de Chile.
- Echavarría, B. (19 de Marzo de 2016). *Suministro de GNL vía camiones como cobustible para camiones mineros*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137219?show=full>
- Energiminas. (22 de Junio de 2020). *Gas Natural licuado gana espacio en camiones mineros de Caterpillar*. Obtenido de <https://energiminas.com/gas-natural-licuado-gana-espacio-en-camiones-mineros-de-caterpillar/>
- ESTAMN. (2019). En el 2019, La inversión minera superó los US\$ 6.150 millones, Incremento de del 24.5% interanual. *Estadístico Minero*.
- Garzón, G. C., & Salazar, G. J. (2015). *Técnicas para determinar la viabilidad técnica de un proyecto en la etapa de formulación*. Obtenido de http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/3065/1/Tecnica_determinar_viabilidad_garzon_2015.pdf
- GFS corp. (10 de Julio de 2014). *GFS Copr continuará convirtiendo más camiones de transporte de Arch Coal en una operación de gas natural líquido*. Obtenido de <https://www.gfs-corp.com/news.php/art/22/yr/2014>
- GFS corp. (3 de Diciembre de 2015). *Nuevo pedido para el suministro de sistemas de conversión de camiones de transporte de GNL a la mina Black Thunder de Arch Coal*. Obtenido de <https://www.gfs-corp.com/news.php/art/23/yr/2015>

- GFS corp. (19 de Setiembre de 2016). *Sistemas de conversión de gas natural para camiones de transporte Caterpillar 785 y cargadores de ruedas Caterpillar 992*. Obtenido de <https://www.gfs-corp.com/news.php/art/24/yr/2016>
- GFS Corp. (2019). *Conversiones de ahorro de combustible de GNL para camiones n Cargadores de ruedas*. Obtenido de <https://www.gfs-corp.com/industry.php/mining/>
- Gonzáles, Alba, & Ordieres. (2014). Justificación y viabilidad del proyecto.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2010). *Metodología de la investigación* (Cuarta ed.). Iztapalapa, México: Talleres de infagon web.
- ICUEE. (2015). Construction Mining and utility equipment. *Diesel Progress*.
- Lagos, L. E. (2010). *Evaluación del riesgo financiero en Proyectos Mineros*. Lima.
- Minem. (2019). Equipamiento Minero Registra Incremento de 70.6%: En el acumulado de inversión minera al mes de noviembre. *Estadístico Minero*.
- Okdiario. (26 de Enero de 2019). *Cómo hacer un estudio de viabilidad*. Obtenido de <https://okdiario.com/howto/como-hacer-estudio-viabilidad-3619683>
- Pérez, A. (24 de Abril de 21). *VANy TIR, dos herramientas para la viabilidad y rentabilidad de una inversión*. Obtenido de <https://www.obsbusiness.school/blog/van-y-tir-dos-herramientas-para-la-viabilidad-y-rentabilidad-de-una-inversion>
- Quispe, P. F. (2018). *Evaluación económica para la determinación de rentabilidad en la explotación aurífera de la empresa contratistas generales Winchumayo E.I.R.L - Carabaya*. Puno.
- Rodríguez, F. G. (2019). *Guía técnica de proyecto - Motores Diesel de Combustión interna*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcr696g/doc/bmfcr696g.pdf>
- Seferino, Y. (2019). Logística: Clave de la Minería Moderna. *Rumbo Minero: Minería y Energía*(17).
- Sevilla, A. A. (15 de Julio de 2014). *Tasa interna de retorno (TIR)*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Sevilla, A. A. (4 de noviembre de 2015). *Rentabilidad*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/rentabilidad.html>
- Yupanqui, M. C. (15 de Junio de 2014). *Valor Actual neto (VAN)*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- Zegarra, M. (2016). *Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados*. Lima: Revistas UAP.