

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“ANÁLISIS DEL CONSUMO DE DIESEL POR LA UTILIZACIÓN DE
ADITIVO EN LA MEZCLA DE COMBUSTIBLE EN LOS CAMIONES
MINEROS DE ACARREO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MINAS**

**ELABORADO POR
JAKSON ROGER OLIVERA SÁNCHEZ**

**ASESOR
ING. ADOLFO JESUS CHAVEZ VALDIVIA**

LIMA-PERU

2021

RESUMEN

En la minería del cobre las minas que utilizan el método de explotación a cielo abierto, en sus procesos de extracción y acarreo requieren de equipos de gran magnitud para el movimiento de grandes cantidades de material, la principal fuente de energía que utilizan estos equipos para su funcionamiento proviene de la combustión del petróleo.

El objetivo del presente Trabajo de suficiencia es analizar de la variación en el consumo del Diésel en los camiones mineros y su repercusión en el costo por acarreo en el proceso de minado, cuando estos camiones utilizan en la mezcla de combustible un aditivo que incrementan la eficiencia de combustión y con base en los resultados, evaluar el posible beneficio económico y su posterior estandarización para su utilización en los equipos de acarreo.

Para realizar este análisis se ha establecido como unidad de estudio cuatro camiones de acarreo de amplia utilización en la industria de gran minería tanto a nivel local y global, de 300 y 360 toneladas de capacidad de carga, además como aditivo se utilizará un proveedor que ha mostrado beneficios en diferentes industrias y que es el único en el mercado que comienza usarse en la industria minera.

Basándonos en un diseño de investigación experimental se tomaron datos en campo donde se sometió a cada pareja de camiones de iguales características a las mismas condiciones mientras realizaban un mismo trabajo durante 2 semanas, un camión de cada pareja utiliza el aditivo en su mezcla de combustible mientras que el otro solo Diesel.

Con los resultados se comprueba la efectividad del aditivo y se cuantificó el beneficio en la disminución del consumo en 2.67% para la flota Komatsu 930E-SE y de 1.92% para la flota Caterpillar 797F, posteriormente con un análisis de costo

beneficio se determinó que económicamente es conveniente la utilización del aditivo y el impacto económico es de 525,052 USD de ahorro estimado anual en la actividad de acarreo.

ABSTRACT

Copper mines that use the open pit exploitation method, their extraction and hauling processes require large equipment for the movement of large quantities of material, the main source of energy that these equipment uses for its operation comes from the combustion of oil.

The objective of this Sufficiency Work is to analyse the variation in diesel consumption in mining trucks and their impact on the hauling costs in the mining process when these trucks use an additive in the fuel mixture that increase combustion efficiency and based on results, assess the possible economic benefit and their subsequent standardization for use in hauling equipment.

To carry out this analysis, four widely used haul trucks in the mining industry have been established as a study unit both locally and globally, with 300 and 360 tons of cargo capacity, and as an additive a supplier has shown benefits in different industries and is the only one on the market that begins to be used in the mining industry.

Based on an experimental research design, data were taken in the field where each pair of trucks of equal characteristics were subjected to the same conditions while doing the same work for 2 weeks, one truck from each pair used the additive in their fuel mixture while the other only Diesel.

The results check the effectiveness of the additive and quantify the profit in the reduction of the Diesel consumption that resulted in 2.67% in the Komatsu fleet and 1.92% in the Caterpillar fleet. Then with a cost-benefit analysis it was defined whether the use of the additive is economically desirable and the annual economic impact estimated was 525,052 USD of savings.

PROLOGO

El presente trabajo de suficiencia tiene como objetivo analizar la variación en el consumo del Diésel en los camiones mineros y su repercusión en el costo por acarreo en el proceso de minado cuando estos camiones utilizan en la mezcla de combustible un aditivo que incrementan la eficiencia de combustión. Para la consecución de este objetivo, se ha realizado una investigación bibliográfica de textos y publicaciones científicas relacionada con la eficiencia de la combustión, eficiencia energética en operaciones minera y métodos para la evaluación económica.

En el primer capítulo: Introducción, se describen las generalidades acerca del tema de investigación. Se realiza la descripción del problema de investigación y se formula el problema. Se establece el objetivo y se describen los antecedentes referenciales, nacionales e internacionales.

El segundo capítulo corresponde al marco teórico y conceptual. El marco teórico se detallan los conceptos de combustión, eficiencia energética y análisis costo beneficio y punto de equilibrio, los cuales están debidamente referenciados con textos, publicaciones o artículos científicos. Por otra parte, el marco conceptual precisa los términos que tienen diferentes interpretaciones.

En el tercer capítulo, se plantea la hipótesis y la operacionalización de variables. Se detalla la variable dependiente y la variable independiente del presente trabajo de investigación.

El cuarto capítulo, detalla la metodología de investigación y se indica el tipo y diseño de la investigación. Incluye, la descripción de la unidad de análisis, donde se establecen los equipos e insumos a utilizar en el estudio. Este capítulo también incluye la matriz de consistencia, la cual sistematiza el problema, objetivos hipótesis, variables e indicadores.

ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| RESUMEN..... | ii |
| ABSTRACT..... | iv |
| PROLOGO..... | v |
| ÍNDICE..... | vi |
| INDICE DE FIGURAS..... | x |
| INDICE DE TABLAS..... | xi |
| CAPÍTULO I..... | xi |
| INTRODUCCIÓN..... | xii |
| 1.1 Generalidades..... | xii |
| 1.2 Descripción del problema de investigación..... | 2 |
| 1.3 Objetivo..... | 7 |
| 1.4 Antecedentes Referenciales..... | 7 |
| 1.4.1. Antecedentes Internacionales..... | 7 |
| 1.4.2. Antecedentes Nacionales..... | 10 |
| CAPITULO II..... | 2 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO..... | 2 |
| 2.1.1 Metodología para análisis de oportunidades y medidas Eficiencia Energética (EE). | 2 |
| 2.1.1.1 Análisis de consumo energético..... | 15 |
| 2.1.1.2 Análisis de Sistema Energéticamente Relevantes en minería..... | 18 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.1.2 | Acarreo en el proceso de minado | 19 |
| 2.1.3 | Equipo de carguío y acarreo en minas peruanas..... | 19 |
| 2.1.4 | Proceso de Combustión..... | 20 |
| 2.1.5 | Combustión Completa | 20 |
| 2.1.6 | Eficiencia de la combustión | 20 |
| 2.1.7 | Comportamiento del Oxígeno en la Combustión..... | 21 |
| 2.1.8 | Aire Enriquecido para Incrementar la Combustión..... | 23 |
| 2.1.9 | Aire Enriquecido en oxígeno en motores de Combustión Interna.. | 24 |
| 2.1.10 | Propiedades de los combustibles. | 24 |
| | 2.1.10.1 Volatibilidad | 25 |
| | 2.1.10.2 Retardo a la inflación..... | 25 |
| 2.1.11 | Aditivo TPx | 26 |
| | 2.1.11.1 Procedencia..... | 26 |
| | 2.1.11.2 Características..... | 27 |
| | 2.1.11.3 Beneficios..... | 27 |
| 2.2 | Marco conceptual..... | 28 |
| 2.2.1 | Aditivo..... | 28 |
| 2.2.2 | Aditivo TPx HD | 28 |
| 2.2.3 | Camiones de carga de alto tonelaje..... | 28 |
| 2.2.4 | Combustión completa..... | 28 |
| 2.2.5 | Combustible Diesel..... | 29 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 2.2.6 | Contenedor IBC (Tote)..... | 29 |
| 2.2.7 | Motor de combustión interna..... | 29 |
| 2.2.8 | Motor de encendido por compresión..... | 30 |
| 2.2.9 | Motor C.F.R. | 30 |
| CAPITULO III | | 15 |
| HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | | 15 |
| 3.1 | Hipótesis | 15 |
| 3.2 | Variables | 15 |
| 3.3 | Indicadores..... | 15 |
| CAPITULO IV..... | | 15 |
| METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | | 15 |
| 4.1 | Tipo y Diseño de la Investigación | 15 |
| 4.2 | Unidad de análisis | 15 |
| 4.3 | Etapas de la Investigación..... | 34 |
| 4.3.1 | Recolección de datos | 34 |
| 4.3.2 | Procesamiento de Datos..... | 34 |
| 4.3.3 | Análisis de la Información | 34 |
| 4.4 | Matriz de Consistencia | 35 |
| CAPITULO V..... | | 36 |
| DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN..... | | 36 |
| 5.1 | Recolección de Datos..... | 36 |
| 5.2 | Línea Base | 39 |
| 5.3 | Procesamiento y Análisis de Datos | 40 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 5.3.1 | Cálculo de Indicadores de la Flota 930E-4SE..... | 41 |
| 5.3.2 | Cálculo de Indicadores de la Flota CAT 797F..... | 55 |
| CAPITULO VI..... | | 49 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | | 49 |
| 6.1 | Análisis De La Variación De Consumo en la Flota Komatsu 930E-4SE..... | 49 |
| 6.2 | Análisis De La Variación De Consumo en la Flota CAT 797F..... | 49 |
| 6.3 | Análisis Beneficio -Costo..... | 50 |
| 6.4 | Análisis de Sensibilidad - Costo de Diésel USD/gal..... | 51 |
| 6.5 | Prueba de Hipótesis..... | 51 |
| CONCLUSIONES..... | | 53 |
| RECOMENDACIONES..... | | 55 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 57 |
| ANEXOS | | |
| ANEXO 1: Datos de campo | | |
| ANEXO 2: Flota Komatsu 930E-4SE | | |
| ANEXO 3: Flota Caterpillar CAT 797F | | |
| ANEXO 4: Aditivo TPx HD | | |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1: Participación por Sectores en el Consumo Final de Energía..... | 3 |
| Figura 1.2: Evolución del precio del barril de petróleo..... | 3 |
| Figura 1.3: Proyección de los precios promedios – Banco Mundial. | 6 |
| Figura 1.4: Proyección de los precios promedios – FMI..... | 6 |
| Figura 2.1: Flujo de procesos de metodología para análisis de oportunidades y medidas de EE | 14 |
| Figura 2.2: Diagrama de flujo de procesos de análisis del consumo energético. | 15 |
| Figura 2.3: Clasificación Sistemas Energéticamente Relevantes para la Minería. ... | 18 |
| Figura 2.4: Composición de combustión en función de la cantidad de aire presente. | 21 |
| Figura 2.5: Composición de gases de salida en función de la deficiencia de O ₂ | 22 |
| Figura 2.6: Cantidad estequiométrica de O ₂ suponiendo mezcla perfecta..... | 22 |
| Figura 4.1: Mapa de ubicación de geográfica de la mina Cuajone | 33 |
| Figura 5.1: Camión de acarreo V116, Komatsu 930E-4SE. | 37 |
| Figura 5.2: Rutas de acarreo por flota..... | 38 |
| Figura 5.3: Método de cálculo de ahorro por uso de aditivo TPx HD..... | 39 |
| Figura 5.4: Consumo de Diesel – gal/h, horas efectivas flota K930E-4SE. | 43 |
| Figura 5.5: Consumo de Diesel – gal/t-h, horas efectivas flota K930E-4SE. | 44 |
| Figura 5.6: Consumo de Diesel – gal/h, horas efectivas flota CAT 797F..... | 46 |
| Figura 5.7: Consumo de Diesel – gal/t-h, horas efectivas flota CAT 797F. | 47 |
| Figura 6.1: Gráfico de análisis de Sensibilidad Costo del Diesel y Ahorro | 51 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1: Porcentaje de Costo según Actividad..... | 5 |
| Tabla 1.2: Comparación Costo Acarreo Vs Costo Diesel. (Millones US\$)..... | 5 |
| Tabla 2.1: Formulario de identificación del SER. | 16 |
| Tabla 2.2: Formulario de identificación del SER. | 17 |
| Tabla 4.1: Matriz de consistencia..... | 35 |
| Tabla 5.1: Datos e Indicadores para la flota Komatsu 930E-4SE..... | 42 |
| Tabla 5.2: Datos e Indicadores para la flota CAT 797F..... | 45 |
| Tabla 6.1: Relación de consumo y porcentaje de ahorro tomando en cuenta las horas efectivas de trabajo..... | 48 |
| Tabla 6.2 Relación de consumo -ahorro tomando en cuenta las horas efectivas.... | 49 |
| Tabla 6.3: Resultados de la evaluación Costo - Beneficio..... | 50 |
| Tabla 6.4: Resumen de Resultados | 52 |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Todos los combustibles derivados del petróleo en el proceso de la combustión se transforman en gases, cenizas y depósitos, dando lugar a problemas de incrustaciones, corrosión y contaminación ambiental. En América Latina estos combustibles tienen un alto grado de impurezas y contaminantes que agravan los problemas mencionados, teniendo consecuencias en la calidad del aire, la economía y la vida útil de los equipos.

Los países desarrollados han logrado desacoplar la curva de consumo de energía y de crecimiento económico, los programas de eficiencia energética fueron y son una de las principales medidas utilizadas para haber logrado este objetivo. Siendo la minería uno de los mayores consumidores de energía en Perú, según el MINEM, es importante buscar implementar estas medidas en las operaciones peruanas para así utilizar la energía de manera más eficiente y responsable. (Cabezas Cifuentes, 2016).

Debido al incremento de la demanda de los metales por el consumo de los países emergentes, las empresas mineras deben incrementar sus niveles de producción. En el Perú, uno de los mayores consumidores de fuentes de energía es la minería, la cual es altamente consumidora de combustibles, para el desarrollo de sus operaciones y funcionamiento de la flota de equipos (Mena, 2005).

El Diésel es un elemento consumible vital para las operaciones mineras de tajo abierto, donde cerca del 95% de los equipos dedicados al carguío acarreo y trabajo auxiliar utilizan para su funcionamiento el Diesel.

En la búsqueda de alternativas para afrontar los altos precios de los combustibles derivados del petróleo, y reducir las emisiones de gases contaminantes y material particulado a la atmósfera como producto de su combustión, se han desarrollado aditivos con fórmulas especiales para diésel y combustibles pesados (Fuel Oil – residual, Bunker C), que permitirán al usuario: ahorrar combustibles, economizar en gastos de mantenimiento y reducir las emisiones de gases de combustión.

El impacto que representa en el costo de minado reducir el consumo de petróleo justifica evaluar las diferentes opciones que ofrece el mercado, no solo en lo que se refiere al equipo sino también al combustible con el aditivo para el mejoramiento de la combustión.

1.2 Descripción del problema de investigación

El consumo de energía del sector Industria y Minería tuvo un crecimiento sostenido en los últimos 10 años previos llegando a representar el 27,2% del consumo total de energía del país en el 2019, como se muestra en la figura 1.1.

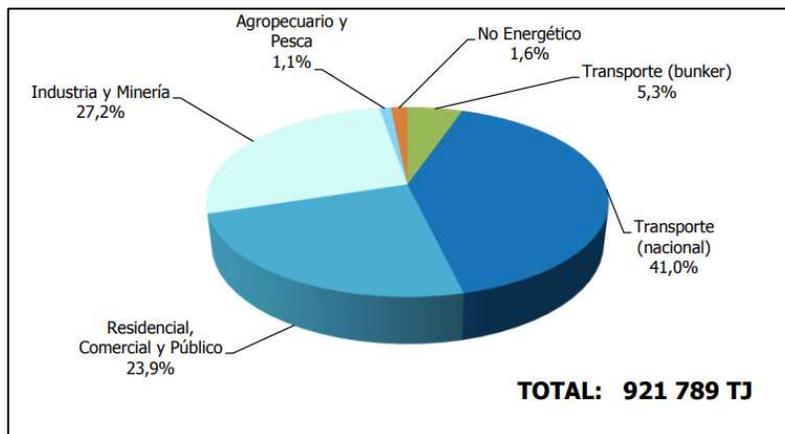


Figura 1.1: Participación por Sectores en el Consumo Final de Energía.
Fuente: Balance Energético Nacional 2019 - Ministerio de Energía y Minas 2021.

Perú es un país importador de hidrocarburos derivados del petróleo y depende de los vaivenes del mercado mundial, así como también de los aspectos geopolíticos, tecnológicos y especulativos que se reflejan en el precio internacional del Diesel.

Como se muestra en el figura 1.2 la cotización histórica del barril de crudo de la OPEP desde 2003 alcanzó su precio máximo, 140,73\$, en el 3 de julio de 2008 y su precio mínimo, 12,22\$, el 22 de abril de 2020.



Figura 1.2: Evolución del precio del barril de petróleo.
Fuente: Canasta de Precios - OPEP (Organización de países exportadores de petróleo), (2021).

En la minería del cobre los métodos de extracción y procesamiento del mineral se requiere de equipos de gigantes dimensiones para el movimiento de grandes cantidades de material. Las principales fuentes de energía para estos equipos son combustibles derivados del petróleo y electricidad.

Año tras año el consumo de energía en la minería crece, en el mejor de los casos a causa de la búsqueda de una mayor producción, pero también debido al cambio de las características del macizo rocoso como por ejemplo aumento de la dureza y la densidad que exigen un incremento de la potencia en los equipos y por consiguiente mayor demanda de energía.

Ha medida que aumentan las dimensiones del tajo y se profundiza en el minado se incrementan las distancias de acarreo tanto para llevar el mineral a planta como para transportar el desmonte a los respectivos depósitos por lo que es necesario incrementar el número de camiones en la flota, impactando significativamente en el consumo de combustible

También al avanzar el tiempo de vida de la mina se produce una declinación de las leyes de mineral, y para conseguir la misma cantidad de mineral se requiere procesar una mayor cantidad de roca, lo que aumenta el consumo de energía.

En una operación minera a tajo abierto se recolectaron datos de los costos asociados al proceso productivo de minado. De este seguimiento se observó un comportamiento bastante común en la industria, presentando a la actividad de acarreo como ítem principal en la distribución de costos de operaciones mina, como se muestra en la tabla 1.1, el acarreo representa aproximadamente la mitad del costo operativo.

Tabla 1.1: Porcentaje de Costo según Actividad.

| PARTE PROCESO | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Perforación | 3.3% | 4.5% | 4.9% | 5.2% | 5.4% | 7.0% |
| Voladura | 7.9% | 16.9% | 15.4% | 12.0% | 12.0% | 13.5% |
| Carguío | 12.5% | 12.6% | 10.5% | 15.1% | 10.9% | 10.2% |
| Acarreo | 50.8% | 43.3% | 47.7% | 44.7% | 53.9% | 49.0% |
| Camino y Botaderos | 11.0% | 9.4% | 8.7% | 11.8% | 8.2% | 10.2% |
| Costos Generales | 14.4% | 13.3% | 12.8% | 11.2% | 9.7% | 10.1% |

Fuente: Presupuesto Anual - Southern Perú (2017).

Dentro de la actividad de acarreo también se realizó la distribución de costos y nuevamente algo constante en la industria es el alto porcentaje que representa el diésel dentro de los costos de acarreo, en los años anteriores al estudio este porcentaje se ve aún más elevado por los altos precios del petróleo, como se muestra en la tabla 1.2, en la actividad de acarreo el diésel representa un porcentaje promedio mayor al 60%.

Tabla 1.2: Comparación Costo Acarreo Vs Costo Diesel. (Millones US\$)

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Costo de Acarreo | 83.7 | 79.8 | 95.4 | 104.0 | 132.3 | 97.2 |
| Costo de Diesel | 53.9 | 61.9 | 64.5 | 71.9 | 54.6 | 43.5 |
| Diesel en Acarreo (%) | 64.37% | 77.54% | 67.67% | 69.13% | 41.28% | 44.73% |

Fuente: Presupuesto Anual - Southern Perú (2017).

Luego que la OPEP anunciara recortes en la producción de crudo como medida para recuperar el precio del petróleo las proyecciones indican un incremento sostenido para los próximos 10 años como consecuencia también de la recuperación

económica de las industrias golpeadas por la crisis sanitaria mundial. La figura 1.3 y la figura 1.4 muestra el pronóstico del promedio del precio del crudo de dos diferentes fuentes.

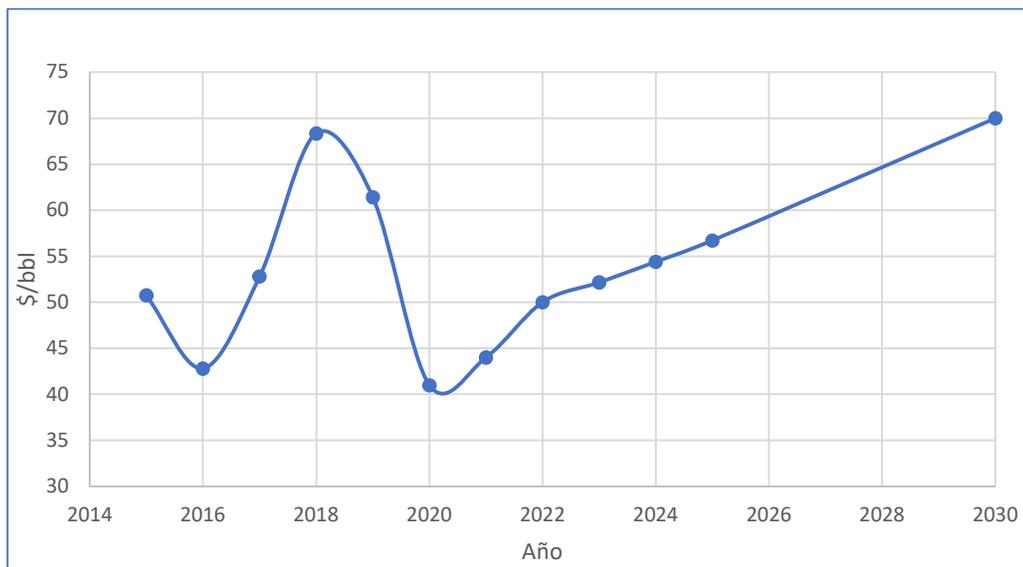


Figura 1.3: Proyección de los precios promedios – Banco Mundial.
Fuente: Pronóstico de Precios - Banco Mundial, (2021).

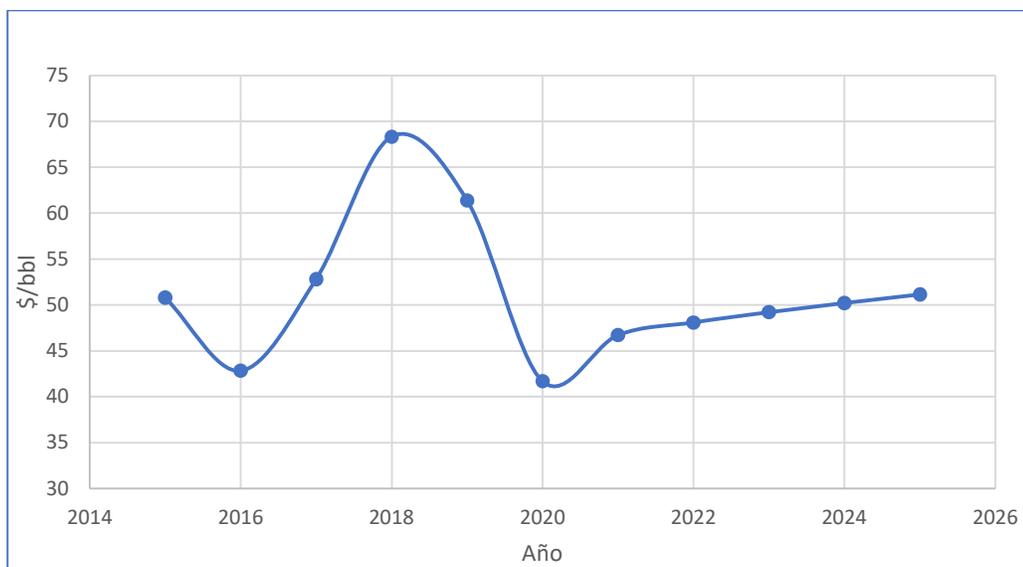


Figura 1.4: Proyección de los precios promedios – FMI.
Fuente: Pronóstico de Precios - Fondo Monetario Internacional, (2021).

¿En qué medida la utilización de aditivo impacta en el costo por consumo de combustible de los camiones mineros de acarreo en una mina a cielo abierto?

1.3 Objetivo

Reducir el costo por consumo del Diésel en los camiones mineros durante el proceso de acarreo cuando estos camiones utilizan en la mezcla de combustible un aditivo que incrementa la eficiencia de combustión.

1.4 Antecedentes Referenciales

1.4.1. Antecedentes Internacionales

Cacua y Munera (2013) En su artículo “revisión de la combustión con aire enriquecido con oxígeno como estrategia para incrementar la eficiencia energética” describen diferentes estudios realizados a nivel mundial sobre la combustión con aire enriquecido con oxígeno, la cual consiste en aumentar la concentración de oxígeno en el aire atmosférico hasta llegar a niveles de hasta el 100%. En su artículo se realiza una revisión de la fenomenología del proceso de combustión con aire enriquecido, haciendo énfasis en aspectos termodinámicos, químicos y cinéticos. Así mismo, se presentan los métodos de obtención de aire enriquecido con oxígeno más aplicados hasta el momento, como la adsorción por presiones oscilantes en tamices moleculares y destilación criogénica, y los que se encuentran en estado de desarrollo, como las membranas de separación. Finalmente, se revisan las aplicaciones más comunes de la combustión con aire enriquecido, como procesos industriales de alta temperatura, captura y secuestro de CO₂, y motores de combustión interna. La investigación concluyó que, La combustión con aire enriquecido ha demostrado ser una técnica eficiente de aprovechamiento de la energía de combustibles fósiles y alternativos de bajo poder calorífico. Esta técnica genera cambios considerables en los fenómenos cinéticos y termodinámicos de la combustión, los cuales repercuten

en la variación de los patrones de transferencia de calor y formación de especies químicas contaminantes.

Actualmente existen distintas tecnologías para la producción del oxígeno que se emplea en la combustión con aire enriquecido, a partir de la separación de aire; la destilación criogénica es la tecnología más madura. Sin embargo, las membranas poliméricas para separación de aire representan la mejor opción para el enriquecimiento a bajas concentraciones de O₂ a mediana y pequeña escala, por lo que es conveniente avanzar en investigaciones de desarrollo de materiales que permitan mayor selectividad y menores costos de fabricación e implementación de esta tecnología. La aplicación de la combustión con aire enriquecido se ha extendido principalmente a los procesos industriales de alta temperatura, en los cuales se han alcanzado altos niveles de eficiencia y aumento de la calidad en los productos. A su vez, esta técnica de combustión ha mostrado importantes mejoras en emisiones contaminantes y eficiencia térmica en los motores de combustión interna. También, se ha mostrado cómo la combinación de la combustión con aire enriquecido y la recirculación de gases de combustión (combustión oxicomcombustible) ha favorecido en los últimos años la reducción de costos en los procesos de captura y secuestro de CO₂. (Cacua y Munera, 2013).

Cabezas Cifuentes (2016) en su memoria “manual de la eficiencia energética para minería” define a la eficiencia energética como la optimización de la relación entre los productos o servicios finales obtenidos y la cantidad de energía utilizada en su producción, también se puede entender como acciones que apuntan a reducir el consumo de energía sin sacrificar el confort o la actividad económica a la que sirve.

Entre los beneficios que trae la realización de eficiencia energética en las industrias mineras, según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), se encuentra un menor consumo de energía, por lo tanto un menor gasto variable y menos consumos de otros recursos ligados al abastecimiento energético; flujos de caja menos sensibles a fluctuaciones en los precios de energía al ser un sistema menos dependientes de los combustibles y de la electricidad; y mayor confiabilidad en los equipos (maquinaria), debido a que una buena implementación de medidas de eficiencia energética requiere de mantenimiento y control continuo. La investigación concluyó que, La caracterización de sistemas de consumo de energía (en contexto de minería del cobre) se realiza mediante una primera clasificación de fuente de energía (combustible y electricidad), luego una subdivisión por el tipo de uso que tienen los equipos. Los sistemas de combustible se dividen en sistemas motrices de combustión interna, sistemas para generar calor directo y sistemas de calderas.

Los principales equipos consumidores de energía corresponden a camiones de carga de alto tonelaje, hornos de fusión y calderas para calentar electrolito indirectamente. Los sistemas de electricidad se dividen en sistemas motrices y sistemas electroquímicos, los primeros son los que representan el mayor consumo debido a los sistemas de bombeo, molinos y chancadores. Las principales oportunidades de eficiencia energética identificadas corresponden a los procesos de conminución y transporte, los cuales además corresponden a los de mayor consumo energético.

La gestión de carga útil y la velocidad de los camiones, en donde una variación del 10% y 20% de la carga total permite traslados con mayor velocidad y mayor cantidad de viajes para lograr desplazar la misma cantidad de mineral anualmente, lo que puede producir un aumento del 10% en combustible.

La mayoría de las oportunidades corresponden a mejora en la gestión y control de los parámetros de operación. Por lo tanto, se requiere de un amplio conocimiento propio de la faena sobre sus procesos; debido a que cada planta prácticamente es única por las propiedades del material que trabaja y las condiciones ambientales, entre otros factores. (Cabezas Cifuentes, 2016).

1.4.2. Antecedentes Nacionales

Vílchez Espejo (2021) presentó su trabajo de investigación titulado “Incrementar capacidad de tanque de combustible de 1000 gal a 200 gal a la flota de camiones Caterpillar 797-F para mejorar su autonomía y productividad” en la facultad de Ingeniería geológica, minera y metalúrgica de la Universidad de Ingeniería en Lima para obtener el título de ingeniero de minas.

La metodología de investigación fue de tipo aplicado, y diseño cuasi experimental utilizando como unidad de análisis la flota de camiones de acarreo Caterpillar modelo 797-F en una mina a tajo abierto a los cuales se le incrementó la capacidad del tanque de combustible de 1000 galones a 2000 galones para luego medir las variaciones en los parámetros de autonomía, producción, productividad y costos en la actividad de acarreo.

Los resultados mostraron que, con un tanque de 2000 galones, la autonomía con respecto a la recarga de combustible mejora en 800 galones o 10.06 h/día a 1800 galones o 21.38 h/día esto quiere decir que debido al incremento de la capacidad los camiones de acarreo podrán seguir trabajando sin necesidad de ingresar al grifo durante 11 horas adicionales. Además, la producción se incrementa en 57 t/h, lo que produce una reducción en los costos de transporte en \$0.059 por tonelada transportada (Vílchez Espejo, 2019).

Roldán Lázaro (2017) en su tesis “Eficiencia del uso del aditivo sintético tpx en la reducción del gas de monóxido de carbono emitido por los equipos de interior mina de la unidad minera Santander, Huaral – Lima” obtuvo como resultado que, el aditivo sintético TPx aplicado logró reducir los niveles de las concentraciones de emisiones de monóxido de carbono en 64.7% en el caso de los equipos Jumbo, 60.4% en los equipos Simba, en los equipos Sccop en un 64.1%, en los equipos Volquetes en 57.2% y en los equipos Telehandler en 65.2%. De acuerdo a Rondán, en los resultados se obtiene la reducción de emisiones de concentración de monóxido de carbono en los equipos mencionados y de esta manera se realiza la comparación de los promedios finales de cada equipo con las mediciones iniciales. Para ello aplicó el estadístico Z para comparación de medias, demostrando que la hipótesis de investigación efectivamente es aceptada, debido al eficiente uso del aditivo sintético TPx. Finalmente concluyó que, Mediante la aplicación del aditivo TPx se ha logrado disminuir los niveles de concentraciones de emisiones de monóxido de carbono, teniendo inicialmente que los niveles se encontraban en un promedio de 882 ppm y después de aplicar el aditivo sintético las concentraciones han sido reducidas a 423 ppm, logrando en consecuencia mantener una reducción global en emisiones contaminantes de monóxido de carbono (CO) del 68.7% y se ha verificado que los equipos mencionados sí aprueban, y están dentro de los parámetros que establece la Norma.

La eficiencia del uso del aditivo sintético TPx a la hora de reducir las emisiones contaminantes producidas por el motor de los equipos, va a depender del uso constante de dicho aditivo, ya que se demuestra la estabilidad en el parámetro de CO, pues si se logra reducir el contaminante, este efecto contribuye a mejorar la calidad de aire. (Roldán Lázaro, 2017).

Champi (2016) en su tesis que lleva por título "Reducción de las demoras operativas y optimización de tiempos por abastecimiento de combustible con el sistema VR -300 GPM en los volquetes de mina - Unidad Operativa Cuajone"; desarrollada para obtener el título de Ingeniero de Minas y que fue sustentada en la Facultad de geología, geofísica y minas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, se enfocó en la posibilidad de reducir tiempos muertos en la operación para incrementar la producción, Champi realizó un trabajo de investigación del tipo experimental evaluando la implementación del sistema VR - 300 GPM en el procesos de abastecimiento de combustible de los camiones de acarreo. El trabajo de investigación concluyó que, la implementación del nuevo sistema de abastecimiento de combustible redujo el total de tiempos muertos en 10 minutos conjunto tomando en cuenta todas las actividades que se realizan en conjunto durante el abastecimiento como por ejemplo la revisión de llantas y la lubricación de los camiones de acarreo. El proyecto requirió una inversión de USD 824 033 que según el análisis de económico se recuperará en tan solo un mes. (Champi, 2016).

Villena Montoya (2014) manifiesta que, si bien es cierto que el Perú es considerado un país minero principalmente, uno de los grandes problemas que atraviesa este tipo de industria es referido a la calidad del combustible. En la actualidad existe el D.S. N° 055-2010/EM donde especifica que las emisiones de monóxido de carbono no deben superar los 500 ppm, en la práctica la realidad es diferente pues por las mismas condiciones de trabajo, como la altura, la combustión es muy deficiente y los valores superan ampliamente lo establecido en el decreto supremo. También debemos considerar que el diésel utilizado por las minas es de menor calidad que el diésel vendido en las estaciones de ventas (grifos) de Lima y principales ciudades del Perú.

Respecto a lo anterior Villena en su tesis Optimización del proceso de combustión en motores de vehículos de carga pesada empleando aditivos oxigenantes, concluyó que, de acuerdo a las pruebas de laboratorio utilizando el aditivo TPx se redujo en 30.6 % las emisiones de monóxido de carbono y se obtuvo 4.96% en ahorro de combustible. (Villena Montoya, 2014).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco teórico

2.1.1 Metodología para análisis de oportunidades y medidas Eficiencia Energética (EE).

La metodología se desarrolla basándose en información de diversas instituciones especialistas en eficiencia energética, tanto en Chile como en el extranjero. La finalidad de la metodología es estandarizar un procedimiento para encontrar oportunidades de eficiencia energética en las diversas faenas de producción de cobre, además entrega las herramientas para proponer medidas de eficiencia energética basado en lo anterior. (Cabezas Cifuentes, 2016).

La metodología tiene 3 etapas diferenciadas como podemos apreciar en la Figura 2.1.

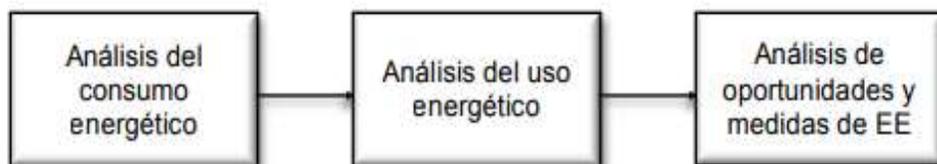


Figura 2.1: Flujo de procesos de metodología para análisis de oportunidades y medidas de EE

Fuente: Manual de eficiencia energética para minería, Cabezas Cifuentes, 2016.

2.1.1.1 Análisis del consumo energético

El objetivo del análisis del consumo energético es presentar los aspectos relacionados con la caracterización energética de la empresa a nivel de consumo, para ello se deben indicar las fuentes de energía que se utilizan, el consumo energético y los gastos monetarios clasificados según su fuente de energía, finalmente determinar los indicadores de consumo y gasto energético. (Cabezas Cifuentes, 2016).

El diagrama de flujo de procesos del desarrollo de las actividades se presenta en la Figura 2.2.

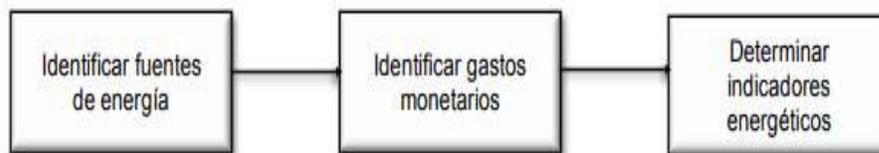


Figura 2.2: Diagrama de flujo de procesos de análisis del consumo energético. Fuente: Manual de eficiencia energética para minería, Cabezas Cifuentes, (2016).

- **Identificar las Fuentes de Energía**

El objetivo es conocer cuáles son los sistemas que consumen mayor energía en la empresa, para después aplicar medidas de eficiencia energética en estos sistemas. (Cabezas Cifuentes, 2016).

En la Tabla 2.1 se presenta un formulario para identificación de SER correspondiente a la mina y planta. Este se basa en que cada proceso general de la mina y planta se relaciona directamente con uno o más sistemas energéticamente relevantes. Se debe determinar el consumo.

Tabla 2.1: Formulario de identificación del SER.

| Proceso | Proceso específico | SER | Equipos |
|-----------------------------------|------------------------------|---|---|
| Mina | Transporte | Sistemas motrices de combustión interna | Camiones de carga de alto tonelaje Equipos de generación de electricidad |
| | | Sistemas motrices eléctricos | Camiones eléctricos de alto tonelaje |
| Concentradora | Chancado primario y Molienda | Sistemas motrices eléctricos | Correas transportadoras |
| | | | Chancadores |
| | | | Molinos |
| | Flotación | Sistemas motrices eléctricos | Bombas hidráulicas |
| Compresores Bombas hidráulicas | | | |
| Fundición | Fusión | Sistemas para generar calor directo | Hornos de fusión |
| | Piro-refinación | Sistemas para generar calor directo | Horno de refinación |
| Refinación | Electro-refinación | Sistemas electroquímicos | Celdas de electro-refinación |
| | | Sistemas de caldera | Caldera de agua |
| LxSxEw | Lixiviación | Sistemas motrices eléctricos | Bombas hidráulicas |
| | Extracción por solventes | Sistemas motrices eléctricos | Bombas hidráulicas |
| | | Sistemas motrices eléctricos | Bombas hidráulicas |
| | Electro-obtención | Sistemas electroquímicos | Celdas de electro-obtención |
| | | Sistemas de caldera | Caldera de agua |

Fuente: Manual de eficiencia energética para minería, Cabezas Cifuentes, 2016.

- **Identificar los usos energéticos**

Una vez determinados los SER se requiere identificar en que se utiliza la energía. Estos se clasifican en usos térmicos y usos mecánicos. En la Tabla 2.2 se presentan usos generales de la energía en la minería. Se debe determinar el consumo energético por cada uso.

Tabla 2.2: Formulario de identificación del SER.

| Clasificación | Uso |
|---------------------------------|--|
| Usos térmicos | Fundir mineral. |
| | Refinar ánodo de cobre. |
| | Calentar electrolito. |
| | Secado de concentrado. |
| Usos mecánicos | Transporte de mineral sólido. |
| | Transporte de mineral húmedo. |
| | Alimentar con agua procesos. |
| | Agitar y separar cobre para formar concentrado. |
| | Triturar. |
| | Moler. |
| | Separar óxidos de cobre del resto del mineral estéril. |
| | Aumentar concentración de cobre en electrolito. |
| Producir cátodo de alta pureza. | |

Fuente: Manual de eficiencia energética para minería, Cabezas Cifuentes, 2016.

- **Elaborar diagramas de flujos y balances de energía**

El objetivo es tener un apoyo visual del flujo de energía dentro de los procesos y equipos, de esta forma se pueden identificar las oportunidades de reducción de consumo energético.

Los diagramas de flujo y balances de energía se desarrollan utilizando planos de las instalaciones, layout de procesos y cualquier documento relevante existente. Es importante destacar el ingreso de energía en cada equipo.

Se recomienda comenzar por un diagrama general de la mina y planta y luego ir profundizando por cada sistema energéticamente relevante, poniendo énfasis en las pérdidas e ineficiencias en los procesos. Cabezas Cifuentes, 2016.

2.1.1.2 Análisis de Sistemas Energéticamente Relevantes en minería

Los SER (sistemas energéticamente relevantes) se clasifican en primera instancia en sistemas combustibles y sistemas eléctricos, cada uno de ellos se subdivide en sistemas más específicos. En la Figura 2.3 se presenta la clasificación propuesta para los SER en la minería. Cabe destacar que las reducciones de consumo energético pueden desarrollarse en otros sistemas como en sistemas de climatización, iluminación, entre otros. Sin embargo, su reducción no es relevante frente a las reducciones en los sistemas propios de la operación. (Cabezas Cifuentes, 2016).

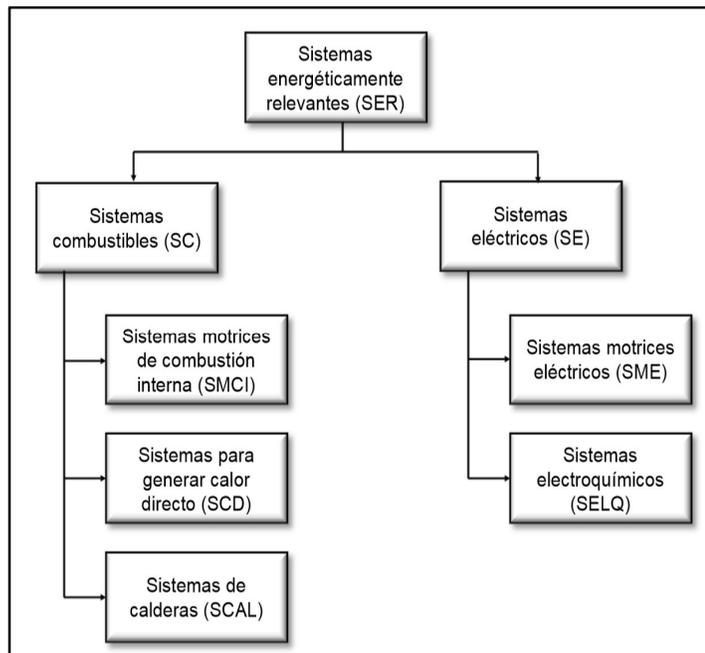


Figura 2.3: Clasificación de Sistemas Energéticamente Relevantes para la Minería.

Fuente: Manual de eficiencia energética para minería, Cabezas Cifuentes, (2016).

2.1.2 Acarreo en el proceso de minado

El acarreo y el carguío son parte del proceso de transporte del material en superficie mediante equipo de traslado para ser transportado correctamente al destino (fábrica, vertedero, inventario). Opcionalmente, estos sistemas de carga depositan de forma directa los materiales en una ubicación definida (Domínguez, 1995).

Este proceso se realiza tanto en minería a cielo abierto como en minería subterránea. En el proceso de producción de la mina, es el proceso con mayor costo y costo de transporte de material, porque involucra un gran número de equipos, nivel de mecanización alto, y un buen rendimiento de producción de cada equipo es bajo y es en realidad un proceso continuo. (Escamilla, 2011).

2.1.3 Equipo de carguío y acarreo en minas peruanas

En su sexto año de operaciones en el Perú, los camiones CAT 797F equipados con motores de combustión interna pueden acarrear 400 toneladas cortas. Esta capacidad de carga, la mayor en el Perú, así como los altos estándares de seguridad y de confort para el operador contribuyen a una alta productividad. Las palas CAT 7495 tienen más de 20 metros de altura y un peso de operación que supera las 1,300 toneladas. Reconocidas por su velocidad, confiabilidad y seguridad, son los equipos de mayores dimensiones del portafolio Caterpillar para la minería de cobre en el mundo. (Ferreyros, 2021).

Son los principales equipos de traslado de mineral desde la mina hacia el chancador primario y de material estéril desde la mina hacia los botaderos. La capacidad de carga varía entre 100 a 400 toneladas típicamente. Los principales componentes de un camión de carga de alto tonelaje son el tren de fuerza (motor y transmisión), el chasis, frenos, caja de cambios, sistema de suspensión, dirección y

neumáticos. El principal equipo de consumo energético en un camión minero es el motor de combustión interna a diésel. (Cabezas Cifuentes, 2016).

2.1.4 Proceso de Combustión

El proceso de la combustión que se desarrolla en los motores de combustión interna (M.C.I.) es un proceso físico-químico completo, sin embargo, la potencia del motor, el rendimiento económico(consumo) se ven afectados por la regularidad del desprendimiento del calor y el cambio de presión y temperatura dentro del cilindro afectado por dicho desprendimiento. (Palomares, 2007).

2.1.5 Combustión Completa

proceso de combustión en el que se consigue obtener la máxima liberación de energía como consecuencia de la oxidación de todo el carbono e hidrógeno contenido en el combustible, dando origen a la formación de dióxido de carbono y vapor de agua respectivamente. (Figueroa y Araque, 2005).

2.1.6 Eficiencia de la combustión

Durante el trabajo en el interior del cilindro del motor de combustión interna, independientemente de la riqueza o pobreza de la mezcla siempre estarán presentes en el escape productos tales como: CO, H₂, HC y carbonilla, especies estas que indican que realmente el proceso de combustión es incompleto. La cantidad de estos componentes es pequeña cuando el motor trabaja con mezclas pobres, pero para los casos de combustión con mezclas ricas sus porcentajes son mayores debido a la insuficiencia de oxígeno, causando esto un mayor deterioro en el aprovechamiento de energía. (Figueroa y Araque, 2005).

2.1.7 Comportamiento del Oxígeno en la Combustión

El proceso de Combustión es una reacción química fundamentalmente, cuyos resultados varían dependiendo de la cantidad de oxígeno que intervenga en el proceso, en la figura 2.4 observamos el comportamiento de dichas variaciones.

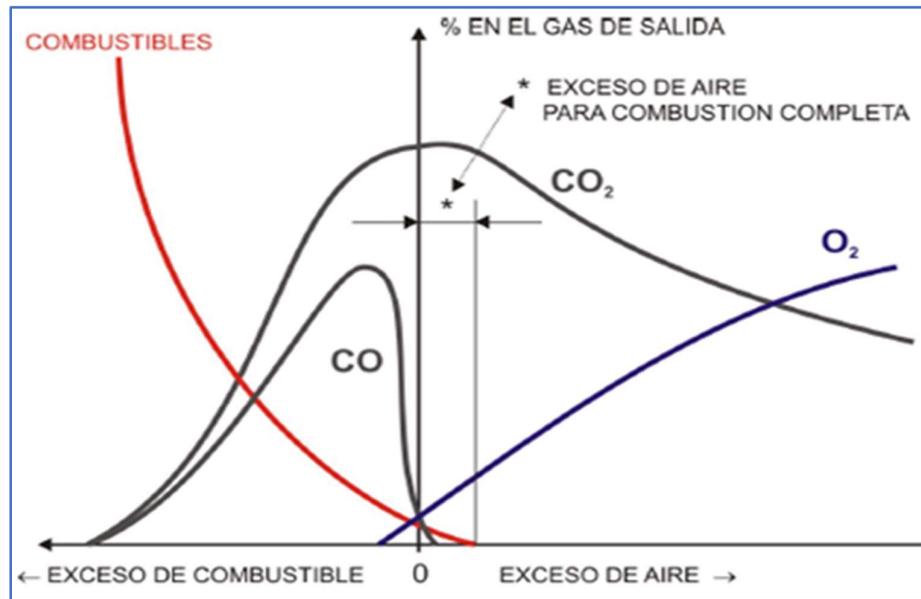


Figura 2.4: Composición de combustión en función de la cantidad de aire presente.

Fuente: Optimización de la Combustión, Tiempo Real S.A. (2010).

- **Poco Oxígeno en la Combustión**

Con defecto de aire (defecto de oxígeno) queda combustible sin quemar y se derrocha. Se obtiene inquemados en los gases de combustión y por lo tanto una combustión insegura la figura 2.5 muestra en la ecuación química la presencia de diferentes moléculas residuales.

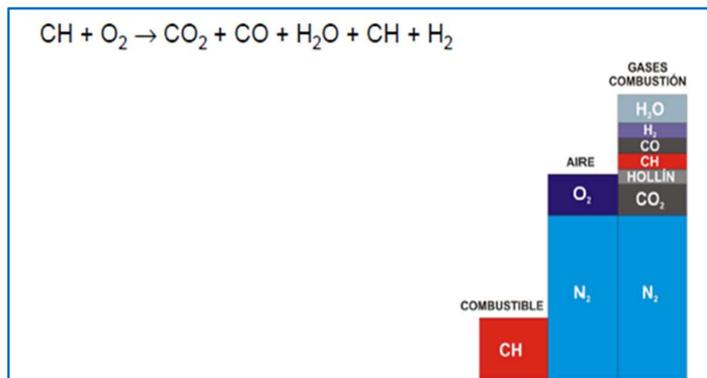


Figura 2.5: Composición de gases de salida en función de la deficiencia de O_2

Fuente: Optimización de la Combustión, Tiempo Real S.A. (2010).

- **Cantidad Ideal de Oxígeno en la Combustión**

Cuando se tiene una relación estequiométrica justa como se aprecia en la figura 2.6, entonces que no existe residuo de combustible, es decir se aprovecha todo en la combustión generando mayor energía.

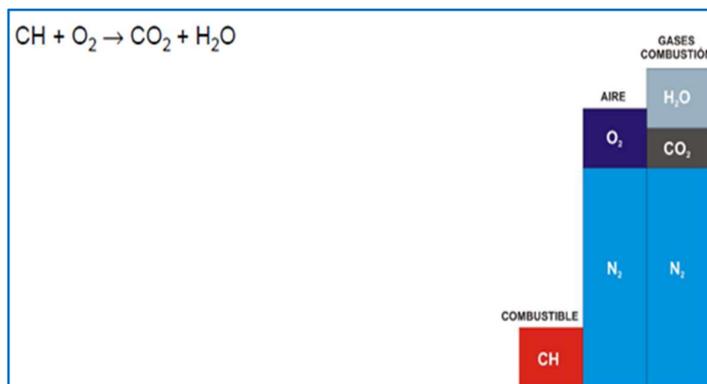


Figura 2.6: Cantidad estequiométrica de O_2 suponiendo mezcla perfecta.

Fuente: Optimización de la Combustión, Tiempo Real S.A. (2010).

Entre las alternativas disponibles para incrementar la eficiencia energética en procesos de combustión se encuentra la combustión con aire enriquecido con oxígeno, la cual consiste en aumentar la concentración de oxígeno en el aire atmosférico hasta llegar a niveles de hasta el 100%. (Cacua y Munera, 2013).

2.1.8 Aire Enriquecido para Incrementar la Combustión

El aire enriquecido con oxígeno es una de las técnicas más prometedoras para incrementar la eficiencia de los procesos de combustión y de transferencia de calor. Entre las ventajas de utilizar aire enriquecido con oxígeno se encuentran los ahorros de combustible de hasta el 15%, las reducciones en las emisiones de CO₂ de hasta el 25% y los incrementos en la eficiencia energética de hasta el 20%, como resultado de reducciones en la temperatura de ignición, aceleramiento de la combustión, incrementos en la temperatura de combustión, mejor transferencia de calor y menores pérdidas de energía en los gases de combustión. Esta técnica es aplicable a escala industrial en un amplio rango de operaciones, que incluye hornos, calderas, estufas, motores de combustión interna y plantas de generación de energía eléctrica. (Cacua y Munera, 2013).

Existen experiencias en las que se han obtenido notables beneficios energéticos con la técnica de enriquecimiento de aire con oxígeno para procesos de combustión, por ejemplo, en Japón, donde se han alcanzado ahorros energéticos de hasta el 26,7% usando aire con el 23% de oxígeno en hornos de cúpula; o en Estados Unidos, donde se ha utilizado el 23-24% de oxígeno en el aire para hornos de fundición, obteniendo ahorros de combustible de hasta el 26,7%. (Cacua y Munera, 2013).

La técnica de enriquecimiento de aire con oxígeno también presenta ventajas ambientales significativas, por ejemplo, la captura de dióxido de carbono, y la disminución en la formación de hollín. Estos efectos se deben a que el incremento en la concentración de oxígeno en el aire de combustión afecta la cinética química, la termodinámica, la transferencia de calor, la tasa de calentamiento y la temperatura de llama. (Cacua y Munera, 2013).

2.1.9 Aire Enriquecido en oxígeno en motores de Combustión Interna.

Entre los beneficios encontrados al utilizar aire enriquecido con oxígeno en motores de combustión interna se encuentran incrementos en el rendimiento, utilización de combustibles de bajo poder calorífico, disminución de emisiones de hidrocarburos sin quemar, monóxido de carbono y material particulado. Sin embargo, el incremento en las emisiones de óxidos de nitrógeno como consecuencia de las altas temperaturas obtenidas en la cámara de combustión del motor ha constituido una de las principales limitaciones para su implementación. (Cacua y Munera, 2013).

Los estudios con enriquecimiento de aire con oxígeno en motores de combustión interna han sido realizados en su mayoría por el Argonne National Laboratory (ANL) de los Estados Unidos, quienes por medio de sus investigaciones lograron demostrar la efectividad de esta técnica de enriquecimiento a través de membranas poliméricas en la reducción de hasta el 60% en las emisiones de material particulado, incrementos en la densidad de potencia de hasta el 20%, disminuciones en el consumo específico y en las emisiones de CO e hidrocarburos sin quemar. Otros autores han mostrado que el enriquecimiento de aire con oxígeno en motores de encendido provocado permite disminuir las emisiones de CO e hidrocarburos, así como incrementos en la potencia efectiva para todo el rango de operación. (Cacua y Munera, 2013).

2.1.10 Propiedades de los combustibles.

El tipo de motor plantea una serie de requisitos con referencia al tipo de combustible que debe utilizarse en cada caso. En un motor de encendido por chispa (MECH) el proceso de formación de mezcla requiere de combustibles con facilidad de evaporación con la finalidad de formar mezclas homogéneas, sin embargo, para el caso de los motores de encendido por compresión MEC la exigencia al combustible

es que asegure un atomizado muy fino pero que al mismo tiempo prolongue la vida útil de los componentes del sistema de inyección. (Figueroa y Araque, 2005).

En forma general el combustible empleado debe cumplir con los siguientes requerimientos: garantizar un arranque rápido y seguro independientemente de la temperatura exterior, permitir el desarrollo del proceso de combustión con una formación pequeñísima de carbonilla, contribuir a la disminución del desgaste y corrosión del espejo del cilindro y Productos de combustión Velocidad de combustión Espesor del frente de llama Turbulencia débil Turbulencia intensa Mezcla fresca Combustión en motor de combustión interna alternativo (MCIA) procurar el desarrollo de un proceso de combustión lo más completo posible y con la mínima expulsión de gases tóxicos. El grupo de propiedades más importantes de los combustibles usados en motores de combustión son: volatilidad, resistencia a la detonación, retardo a la inflamación, viscosidad, densidad, temperatura de congelación, temperatura de inflamación, acidez, tensión superficial y contenido de cenizas. (Figueroa y Araque, 2005).

2.1.10.1 Volatilidad

Es la capacidad que tiene el combustible para vaporizarse, depende de la composición fraccionada, del calor de vaporización y de la tensión superficial. Mientras mayor es la temperatura ambiente mayor será la capacidad de evaporación del combustible. (Figueroa y Araque, 2005).

2.1.10.2 Retardo a la inflamación

Para el caso de MEC lo más importante es asegurar que una vez que el combustible es atomizado en el interior de la cámara de combustión, ocurra su autoencendido con gran facilidad. Esta capacidad del combustible diesel se mide

como el intervalo de tiempo mínimo comprendido entre el instante de comienzo de la inyección del combustible y el instante en el que se produce la inflamación. Este corto período de tiempo depende de las condiciones de funcionamiento del motor y de las propiedades físico-químicas del combustible. Para su evaluación se utiliza el número de Cetano, NC, el cual se determina quemando un combustible diesel normalizado (Cetano + α Metilnaftaleno) y el de prueba en un motor especial (MEC CFR). Combustibles cuyo NC es muy alto tienen un período de retardo a la inflamación muy corto y por lo tanto un proceso de combustión muy suave (rigidez de funcionamiento normal). El empleo de MCI en condiciones severas de trabajo, sumado a la presencia de compuestos no deseables en el combustible, plantea otras exigencias sobre las propiedades que deben tener los combustibles; por ejemplo: para controlar el desgaste excesivo del espejo del cilindro y anillos del pistón, ocasionado por la presencia de azufre, se agregan aditivos químicos; igualmente se agregan aditivos como nitratos y peróxidos al combustible diesel para aumentar el NC y se agregan aditivos antifumígenos para evitar la formación excesiva de humos en los gases de escape. (Figueroa y Araque, 2005).

2.1.11 Aditivo TPx

El aditivo TPx Total Power contiene resinas oxigenantes, incluyendo moléculas orgánicas con un grupo polar en uno o en ambos extremos, impartiendo propiedades únicas y teniendo un efecto directo en la combustión.

Este producto químico es un compuesto orgánico, tensoactivo, soluble y de fácil manejo ambiental (Total Power, 2013).

2.1.11.1 Procedencia

- a) Fabricado por TOTAL POWER INC, en California, USA.

- b) Importado por TPx Peru, Miraflores, Lima, Perú
- c) Fabricado y patentado por el Premio Nobel de Química Ph. D. Marcos Dantus.
- d) Tiene más de 20 años en el mercado mundial y con presencia en más de 21 países en el mundo.

2.1.11.2 Características

- a) Oxigenante: Adiciona oxígeno a la combustión, es decir, por cada cilindro de TPx HD se adiciona 4 000 gramos de oxígeno líquido, lo que equivale a 200 000 litros de aire en condiciones normales.
- b) Dispersante de agua: Dispersa el agua minimizando los problemas de gomas y corrosión interna tanto en los equipos como en el almacenamiento al reducir el crecimiento.
- c) Detergente: Promueve la limpieza de los inyectores y otras partes del sistema de combustión.

2.1.11.3 Beneficios

- a) Ahorro de combustible: Promueve el ahorro de combustible en un rango del 3 al 8% por adición de oxígeno en la combustión.
- b) Protege el ambiente: Reduce las emisiones Tóxicas de Monóxido de Carbono en un rango del 20 al 30% y disminuye la cantidad de partículas suspendidas contenidas en los gases de combustión alrededor del 60%.
- c) Protección a la salud: Promueve mejoras notables en la calidad de vida de los habitantes en el entorno a la planta por inhalación de gases y partículas suspendidas.
- d) Biodegradable: Mínimo impacto por temas de derrames y rápida degradación al contacto con el ambiente.
- e) No cancerígeno: No contiene productos aromáticos ni nitrogenados en su composición.
- f) Anticorrosivo: Reduce la corrosión por gases ácidos y agua.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Aditivo

Es una sustancia química agregada a un producto para mejorar sus propiedades. En el caso de los combustibles dicha sustancia es utilizada en pequeñas cantidades para cambiar las características del mismo y para mejorar sus propiedades (Total Power, 2013).

2.2.2 Aditivo TPx HD

El aditivo sintético TPx cuenta con formulaciones 100% sintéticas, 100% activas, y 100% biodegradables. Son una mezcla de compuestos oxigenantes y detergentes que mejoran las características de la combustión, limpian el sistema de combustible y reducen las emisiones tóxicas emitidas a la atmósfera para mejorar y aumentar la eficiencia. (Total Power, 2013).

2.2.3 Camiones de carga de alto tonelaje

Son los principales equipos de traslado de mineral desde la mina hacia el chancador primario y de material estéril desde la mina hacia los botaderos. La capacidad de carga varía entre 100 a 400 toneladas típicamente. Los principales componentes de un camión de carga de alto tonelaje son el tren de fuerza (motor y transmisión), el chasis, frenos, caja de cambios, sistema de suspensión, dirección y neumáticos. El principal equipo de consumo energético en un camión minero es el motor de combustión interna a diésel. (Cabezas Cifuentes, 2016).

2.2.4 Combustión completa

Proceso de combustión en el que se consigue obtener la máxima liberación de energía como consecuencia de la oxidación de todo el carbono e hidrógeno

contenido en el combustible, dando origen a la formación de dióxido de carbono y vapor de agua respectivamente. (Fygueroa y Araque, 2005).

2.2.5 Combustible Diesel

Es un hidrocarburo líquido de densidad sobre 832 kg/m^3 ($0,832 \text{ g/cm}^3$), compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en calefacción y en motores diésel. Su poder calorífico inferior es de $35,86 \text{ MJ/l}$ ($43,1 \text{ MJ/kg}$)¹ que depende de su composición comercial (Scott, 2008).

2.2.6 Contenedor IBC (Tote)

Los contenedores IBC son depósitos con una capacidad máxima que ronda los 1.000 litros y están hechos para almacenar y transportar de manera cómoda y segura todo tipo de líquidos, sustancias y materiales a granel.

Las siglas IBC provienen de Intermediate Bulk Container y se los puede denominar también GRG o Gran Recipiente a Granel. Con un diseño pensado a partir del espacio que se desea aprovechar, son apilables y su formato facilita tanto la carga como el almacenaje.

Cabe destacar que los contenedores IBC están fabricados en materiales plásticos, aunque reforzados y protegidos por una estructura de metal y un palet en la base que ayuda a sus respectivos movimientos y manipulación con las máquinas adecuadas. (HALECO, 2021).

2.2.7 Motor de combustión interna

Es el mecanismo o conjunto de mecanismos y sistemas completamente sincronizados para que la combustión se realice dentro del motor de esta manera se transforma la energía térmica en mecánica. (Palomares, 2007).

2.2.8 Motor de encendido por compresión

El motor de encendido por compresión es aquel donde la mezcla aire-combustible se enciende por compresión a causa del fenómeno de autoinflamación del combustible. (Figueroa y Araque, 2005).

2.2.9 Motor C.F.R.

Sigla con que se designa el motor mono cilíndrico sugerido por la Cooperative Fuel Research Committee (de la que deriva la sigla), para la determinación de los números de octano o de cetano de un combustible. (Figueroa y Araque, 2005).

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.1 Hipótesis

La utilización del aditivo TPx HD en la mezcla de combustible de los camiones de acarreo en una mina a tajo abierto reduce el costo por consumo de Diesel.

3.2 Variables

En el presente trabajo de investigación se ha identificado variables:

- i. Variable independiente (VD): Aditivo TPx HD
- ii. Variable dependiente (VI): Consumo de Combustible

3.3 Indicadores

Los indicadores establecidos, que permiten medir las características de las variables identificadas y permiten su cuantificación numérica son:

- i. Consumo gal/t-h
- ii. Beneficio anual vs precio del Diesel
- iii. Costo Diese

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y Diseño de la Investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como objetivo resolver un problema determinado, de naturaleza cuantitativa porque está orientada al resultado y contrasta la hipótesis formulada, basándose en métodos matemáticos. El diseño de la investigación es experimental, puesto que extraen datos en campo y se analizan los mismos. Es descriptiva, porque se detalla el cambio en el comportamiento de la unidad de análisis.

4.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis son los camiones de acarreo minero que utilizan en su mezcla combustible el aditivo seleccionado TPx HD del proveedor Total Power. Estos camiones de acarreo realizan su trabajo en la unidad minera Cuajone.

La mina Cuajone se encuentra ubicado en la parte Sur del Perú, formando parte de La Cordillera Occidental de los Andes, la cual tiene una dirección NO-SE, situada en el Departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Distrito de

Torata, entre los 3150 – 3500 m.s.n.m. aproximadamente, la figura 4.1 muestra la ubicación en el mapa.

Geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM:

- 538200.00 y 542000.00 Este.
- 84000.00 y 87800.00 Norte.

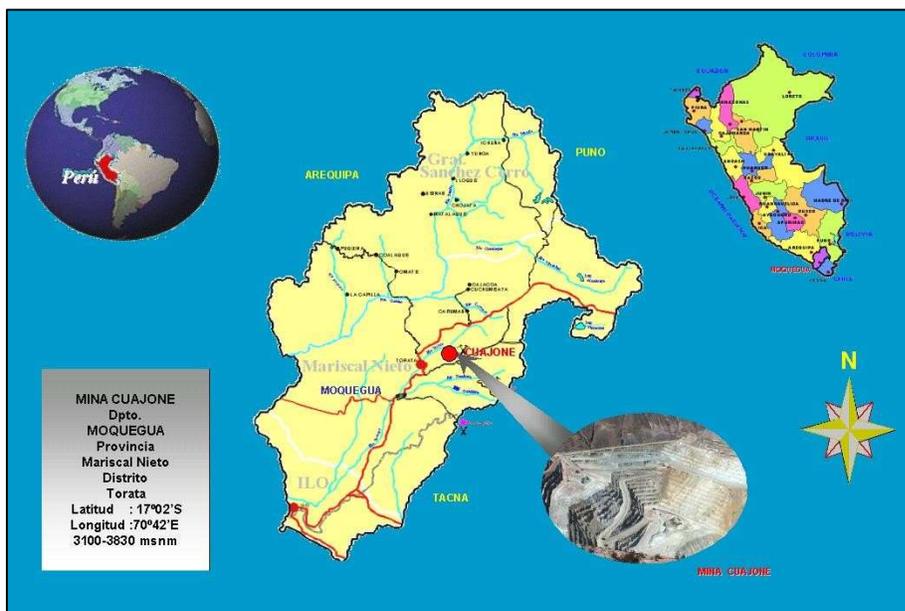


Figura 4.1: Mapa de ubicación de geográfica de la mina Cuajone
Fuente: Southern Perú, Departamento de Geología, 2018

Actualmente la mina Cuajone mueve diariamente una aproximado de 450,000 toneladas de material de las cuales por cada 5 toneladas de material estéril 1 es mineral. Para el desarrollo de esta operación la mina cuenta con equipo de grandes dimensiones y última tecnología entre los que destacan los camiones de acarreo CAT 797F de 363 toneladas métricas de capacidad de carga y Komatsu 930E-4SE de 290 toneladas métricas de capacidad de carga además de las palas PH 4100 XPC DE 110 Toneladas métricas de capacidad de carga útil. (Administración Dispatch Cuajone, 2021)

4.3 Etapas de la Investigación

4.3.1 Recolección de datos

Se realizó la toma de datos en campo a inicio de cada jornada laboral de los equipos mediante el uso de tablas de entrada elaboradas para este trabajo de investigación (ver Anexo 1), adicionalmente se corroboró esta información y se extrajo información adicional del sistema informático de gestión de flota.

4.3.2 Procesamiento de Datos

Los datos fueron procesados utilizando el software MS Excel donde se hicieron también los cálculos matemáticos necesarios para obtener los resultados.

4.3.3 Análisis de la Información

El análisis de la información consistió en determinar si existe una reducción en el consumo de combustible y estimar el ahorro en dólares americanos producto de esa reducción de consumo.

4.4 Matriz de Consistencia

Tabla 4.1: Matriz de consistencia

| Problema | Objetivo | Hipótesis | Variables | | Indicadores |
|--|---|---|---------------|------------------------|--|
| ¿Qué limita la utilización de aditivos en la mezcla de combustible en los camiones mineros de acarreo? | Reducir el costo por consumo del Diésel en los camiones mineros de acarreo durante el proceso de minado cuando estos camiones utilizan en la mezcla de combustible un aditivo que incrementan la eficiencia de combustión | La utilización del aditivo en la mezcla de combustible de los camiones de acarreo en una mina a tajo abierto reduce el costo por consumo de Diesel. | Independiente | Aditivo TPx HD | Litros (L) |
| | | | Dependiente | Consumo de Combustible | Galones por tonelada-hora (gal/t-h) Costo (USD) |

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

5.1 Recolección de Datos

Se recolectaron datos durante 16 días tanto en campo, registrando la data en las tablas previamente diseñadas para el trabajo (Ver Anexo 1), como del sistema de administración de flota que almacena en tiempo real la información de todos los eventos ocurridos durante la jornada en todos los equipos que operan en la mina.

La unidad de análisis fue constituida por dos parejas de camiones gemelos, una pareja perteneciente a la flota de camiones CAT 797F (ver Anexo 2) y la otra pareja perteneciente a la flota de camiones Komatsu 930E-4SE (ver Anexo 3) los cuatro volquetes fueron seleccionados en coordinación con el equipo técnico de Ferreyros CAT y Komatsu Mitsui Maquinarias Perú, además del área de mantenimiento Cuajone, para garantizar que los equipos gemelos se encuentren en las mismas condiciones.

Después de la revisión de todos los camiones de las flotas CAT 797F y Komatsu 930E-4SE se seleccionaron los equipos V147 Y V146 de la flota CAT 797F

y los camiones V115 Y V116 de la flota Komatsu 930E-4SE. Podemos ver al camión de acarreo denominado V116 en la figura 5.1 saliendo de cargar material en una de las palas dentro de la ruta asignada.



Figura 5.1: Camión de acarreo V116, Komatsu 930E-4SE.
Fuente: Southern Perú, Administración Dipatch, 2021

En cada pareja, hubo un volquete que fue tratado con aditivo TPx HD (ver Anexo 4) y el otro sin aditivo, además cada pareja de volquetes recorrió la misma ruta, el mismo número de ciclos y de cargar combustible al mismo tiempo. (se consideró válido un retraso hasta de 30 minutos, por cada turno). En caso de generarse alguna interrupción o una variable desproporcionada, por cualquier motivo no se tomarán datos del turno durante la prueba y en el análisis de datos para el reporte final.

Las rutas fueron establecidas de tal manera de no alterar la distribución natural de estos equipos en la operación, se fijaron los lugares de carga y descarga y se les dio la indicación tanto los operadores para que no cambiaran la ruta, como a los controladores del sistema de gestión de flota para que mantengan en opción fija a los equipos que estaban participando en la evaluación. La primera carga de combustible fue de llenado completo y se utilizó el aditivo TPx HD antes de iniciar los recorridos. En la figura 5.2 podemos ver el plano de la mina donde se han marcado las rutas de acarreo para cada pareja de camiones o volquetes gemelos de acuerdo a la flota a la cual pertenecen.

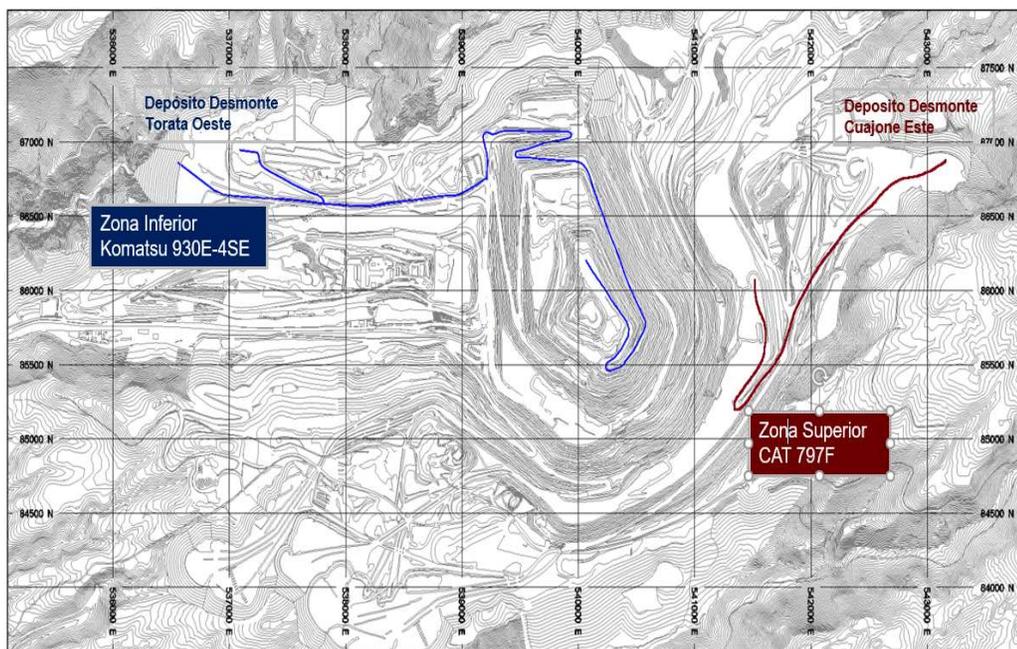


Figura 5.2: Rutas de acarreo por flota.
Fuente: Southern Perú, Administración Dipatch, 2018

5.2 Línea Base

La línea base sirve para determinar las diferencias de consumo preexistentes en cada pareja de camiones, ya que, a pesar de ser de la misma flota y seleccionados especialmente para buscar la pareja en las condiciones más similares posibles, siempre existe variación entre el consumo de los equipos, de esta manera no alteraremos la lectura del impacto real del aditivo. La figura 5.3 muestra de manera gráfica como la línea base define la reducción de consumo a causa de la utilización del aditivo en la mezcla combustible.

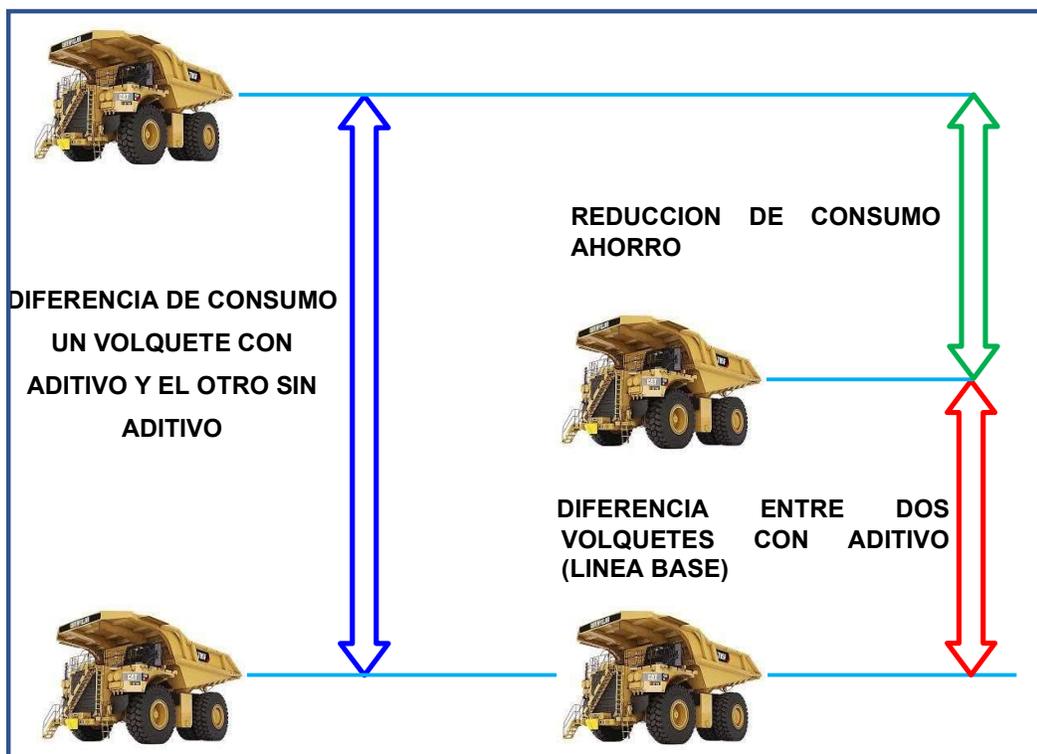


Figura 5.3: Método de cálculo de ahorro por uso de aditivo TPx HD.
Fuente: Elaboración Propia.

Para establecer la línea base se dispuso que durante 8 de los 16 días de la prueba las parejas de volquetes operan ambos con aditivo.

- Flota Komatsu 930E-4SE:

V115 (Volquete 115): 16 días con aditivo.

V116 (Volquete 116): 8 días sin aditivo y 8 días con aditivo.

- Flota Caterpillar 797F:

V147 (Volquete 147): 16 días con aditivo.

V146 (Volquete 146): 8 días sin aditivo y 8 días con aditivo.

5.3 Procesamiento y Análisis de Datos

A continuación, se realizaron los cálculos de los valores de los indicadores que muestran la variación del consumo de combustible de los camiones por efecto de la utilización del aditivo sintético TPx y su valoración en USD, se utilizaron fórmulas matemáticas dentro de una hoja de Excel, para facilitar el ingreso de los datos y determinar los resultados de forma inmediata y almacenados en Tablas y representados en gráficos, los datos a procesar se encuentran registrados en el anexo 4.

En la comparación de dos equipos se debe tomar en cuenta todos los factores que afectan la productividad, en el caso de los camiones de acarreo minero, son la distancia recorrida, el tiempo, el tonelaje, y el consumo.

Al realizarse la prueba en la misma ruta con un mismo número de viajes y bajo las mismas condiciones climáticas, se elimina la necesidad de incluir la magnitud de la distancia equivalente recorrida para la comparación.

Inicialmente se tomaron los datos de tiempo de horómetro y tiempo efectivo proveniente del sistema de administración de flota, los resultados que se utilizaron para el análisis fueron calculados con el tiempo efectivo ya que es el tiempo que solo involucra al equipo en operación.

Para este estudio se utilizó para la comparación final los siguientes indicadores:

Galones por hora: gal/h.

Galones por tonelada-hora: gal/t-h.

5.3.1 Cálculo de Indicadores de la Flota 930E-4SE

La tabla 6 se centra en la flota de camiones Komatsu 930E-4SE y muestra los resultados del cálculo de los indicadores gal/h y gal/t-h además de los datos a partir de los cuales fueron calculados, en la figura 5.4 y figura 5.5 tenemos la representación gráfica del comportamiento de los indicadores mencionados.

Tabla 5.1: Datos e Indicadores para la flota Komatsu 930E-4SE.

| Muestra | Equipo | Diesel (gal) | Horas (h) | gal/h | Toneladas (t) | gal/t-h | Aditivo TPX |
|---------|--------|--------------|-----------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| 1 | V115 | 912 | 13.9 | 65.7 | 292.3 | 0.22 | SI |
| 2 | V115 | 347 | 5.4 | 64.5 | 302.9 | 0.21 | SI |
| 3 | V115 | 496 | 7.7 | 64.6 | 306.6 | 0.21 | SI |
| 4 | V115 | 657 | 10.3 | 63.6 | 312.6 | 0.20 | SI |
| 5 | V115 | 632 | 10.0 | 63.2 | 309.5 | 0.20 | SI |
| 6 | V115 | 523 | 8.3 | 62.9 | 320.2 | 0.20 | SI |
| 7 | V115 | 518 | 8.3 | 62.3 | 300.6 | 0.21 | SI |
| 8 | V115 | 766 | 11.3 | 67.5 | 293.6 | 0.23 | SI |
| 9 | V115 | 525 | 8.5 | 61.9 | 295.5 | 0.21 | SI |
| 10 | V115 | 651 | 10.0 | 65.0 | 309.1 | 0.21 | SI |
| 11 | V115 | 490 | 7.5 | 65.1 | 310.5 | 0.21 | SI |
| 12 | V115 | 882 | 12.5 | 70.6 | 306.3 | 0.23 | SI |
| 13 | V115 | 504 | 7.8 | 64.9 | 299.7 | 0.22 | SI |
| 14 | V115 | 787 | 11.1 | 70.9 | 300.7 | 0.24 | SI |
| 1 | V116 | 942 | 13.9 | 67.8 | 297.8 | 0.23 | NO |
| 2 | V116 | 350 | 5.1 | 68.9 | 284.6 | 0.24 | NO |
| 3 | V116 | 508 | 7.7 | 66.4 | 299.9 | 0.22 | NO |
| 4 | V116 | 696 | 10.3 | 67.5 | 298.2 | 0.23 | NO |
| 5 | V116 | 658 | 9.8 | 67.4 | 310.5 | 0.22 | NO |
| 6 | V116 | 541 | 8.4 | 64.3 | 318.4 | 0.20 | NO |
| 7 | V116 | 515 | 8.3 | 62.7 | 294.6 | 0.21 | SI |
| 8 | V116 | 782 | 11.4 | 68.9 | 293.6 | 0.23 | SI |
| 9 | V116 | 536 | 8.5 | 62.8 | 282.0 | 0.22 | SI |
| 10 | V116 | 684 | 10.0 | 68.4 | 299.9 | 0.23 | SI |
| 11 | V116 | 500 | 7.7 | 64.9 | 312.5 | 0.21 | SI |
| 12 | V116 | 916 | 12.4 | 73.6 | 305.6 | 0.24 | SI |
| 13 | V116 | 530 | 7.8 | 67.8 | 302.3 | 0.22 | SI |
| 14 | V116 | 794 | 11.2 | 70.9 | 294.6 | 0.24 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

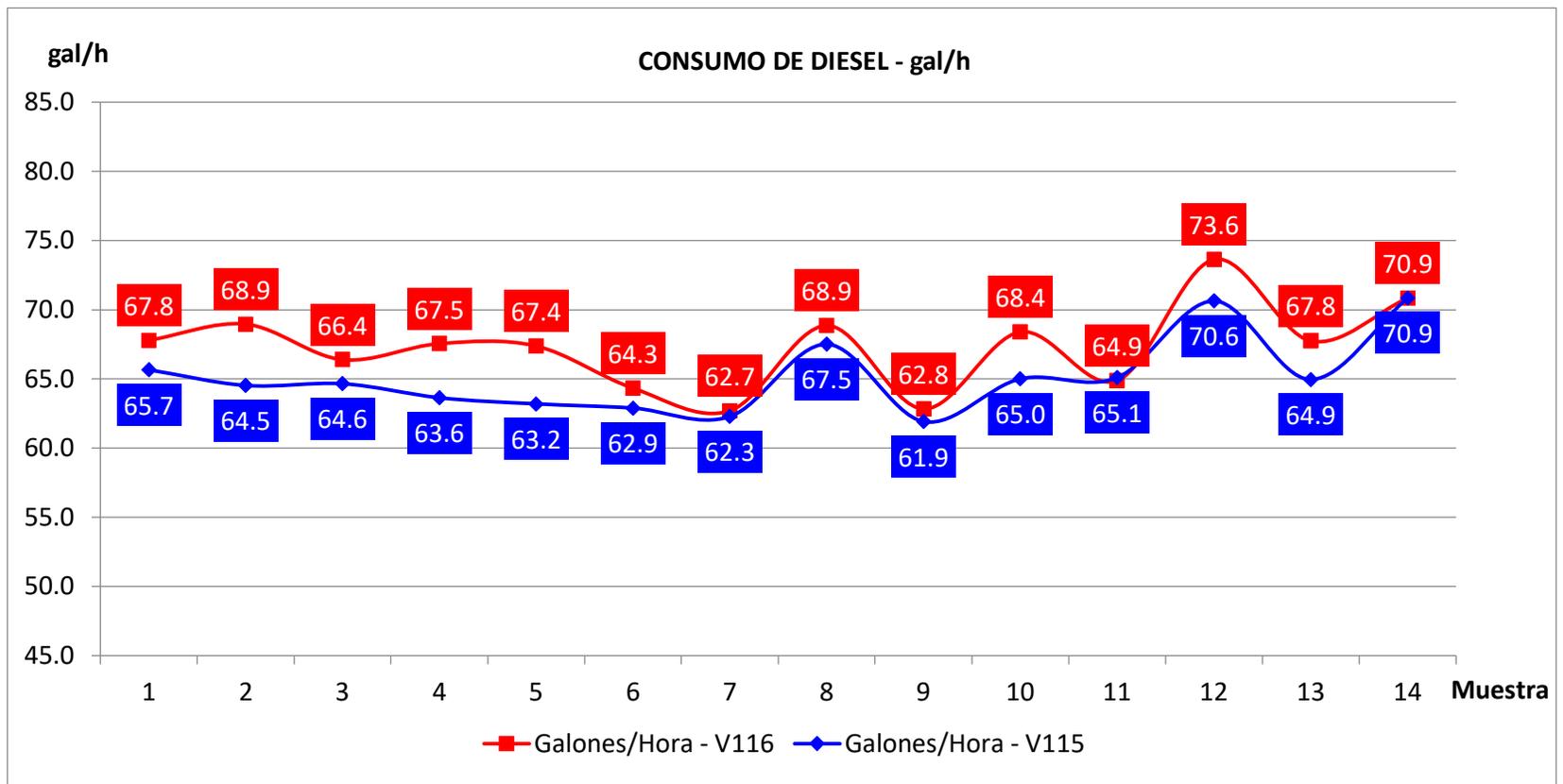


Figura 5.4: Consumo de Diesel – gal/h, horas efectivas flota K930E-4SE.
Fuente: Elaboración Propia

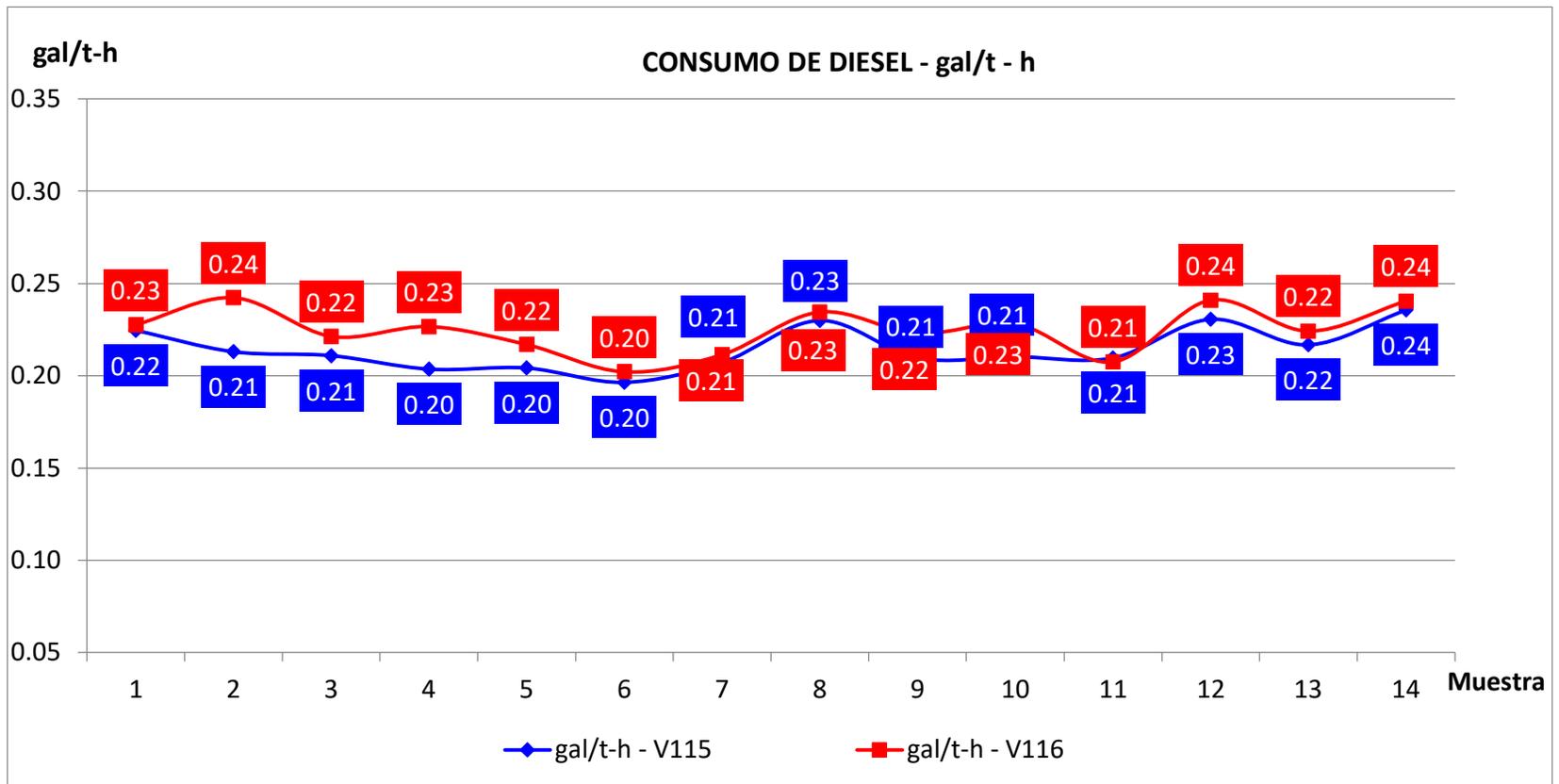


Figura 5.5: Consumo de Diesel – gal/t-h, horas efectivas flota K930E-4SE.
Fuente: Elaboración Propia.

5.3.2 Cálculo de Indicadores de la Flota CAT 797F

La tabla 5.2 se centra en la flota de camiones CAT 797F y muestra los resultados del cálculo de los indicadores gal/h y gal/t-h, en la figura 5.6 y figura 5.7 tenemos la representación gráfica del comportamiento de estos indicadores.

Tabla 5.2: Datos e Indicadores para la flota CAT 797F.

| Muestra | Equipo | Diesel (gal) | Horas (h) | gal/h | Toneladas (t) | gal/t-h | Aditivo TPX |
|---------|--------|--------------|-----------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| 1 | V147 | 1209 | 17.1 | 70.8 | 338.0 | 0.21 | SI |
| 2 | V147 | 1266 | 17.6 | 71.8 | 345.0 | 0.21 | SI |
| 3 | V147 | 1196 | 17.4 | 68.6 | 337.1 | 0.20 | SI |
| 4 | V147 | 1144 | 16.2 | 70.6 | 339.7 | 0.21 | SI |
| 5 | V147 | 866 | 12.3 | 70.5 | 339.9 | 0.21 | SI |
| 6 | V147 | 1246 | 16.7 | 74.4 | 348.2 | 0.21 | SI |
| 7 | V147 | 1263 | 17.4 | 72.5 | 346.1 | 0.21 | SI |
| 8 | V147 | 1095 | 16.0 | 68.5 | 348.7 | 0.20 | SI |
| 9 | V147 | 1156 | 17.6 | 65.7 | 343.0 | 0.19 | SI |
| 10 | V147 | 1363 | 19.0 | 71.7 | 353.4 | 0.20 | SI |
| 11 | V147 | 1342 | 18.9 | 70.9 | 343.0 | 0.21 | SI |
| 12 | V147 | 1334 | 18.4 | 72.6 | 336.1 | 0.22 | SI |
| 1 | V146 | 1195 | 17.1 | 69.7 | 333.1 | 0.21 | NO |
| 2 | V146 | 1271 | 17.5 | 72.7 | 343.4 | 0.21 | NO |
| 3 | V146 | 1192 | 17.5 | 68.2 | 330.3 | 0.21 | NO |
| 4 | V146 | 1146 | 16.0 | 71.4 | 340.5 | 0.21 | NO |
| 5 | V146 | 836 | 11.6 | 72.1 | 338.7 | 0.21 | NO |
| 6 | V146 | 1242 | 16.8 | 74.1 | 349.2 | 0.21 | SI |
| 7 | V146 | 1250 | 17.2 | 72.6 | 348.8 | 0.21 | SI |
| 8 | V146 | 1128 | 16.5 | 68.5 | 341.0 | 0.20 | SI |
| 9 | V146 | 1124 | 17.1 | 65.6 | 339.7 | 0.19 | SI |
| 10 | V146 | 1319 | 19.2 | 68.9 | 342.7 | 0.20 | SI |
| 11 | V146 | 1330 | 18.9 | 70.3 | 336.6 | 0.21 | SI |
| 12 | V146 | 1311 | 18.6 | 70.6 | 334.8 | 0.21 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

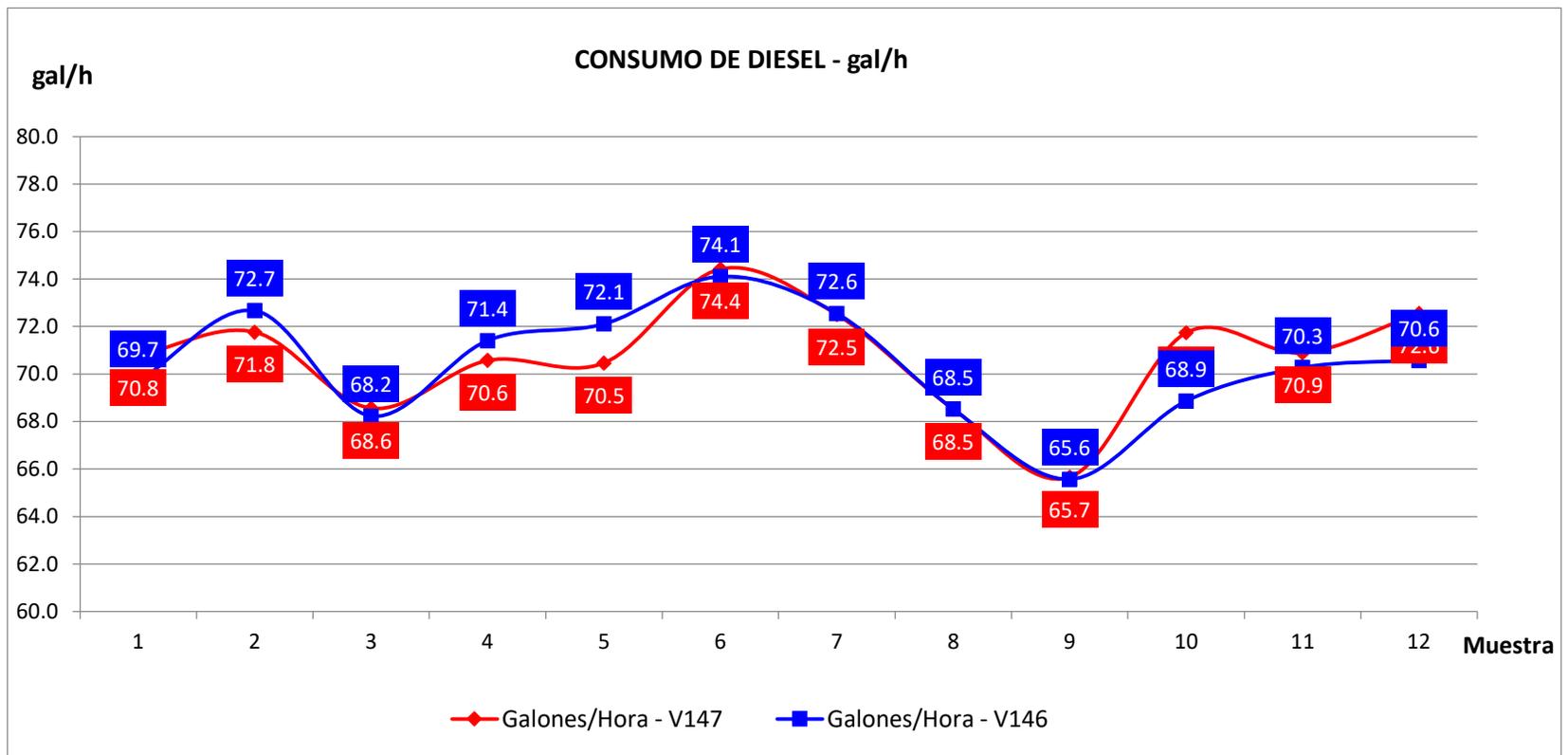


Figura 5.6: Consumo de Diesel – gal/h, horas efectivas flota CAT 797F.
Fuente: Elaboración Propia.

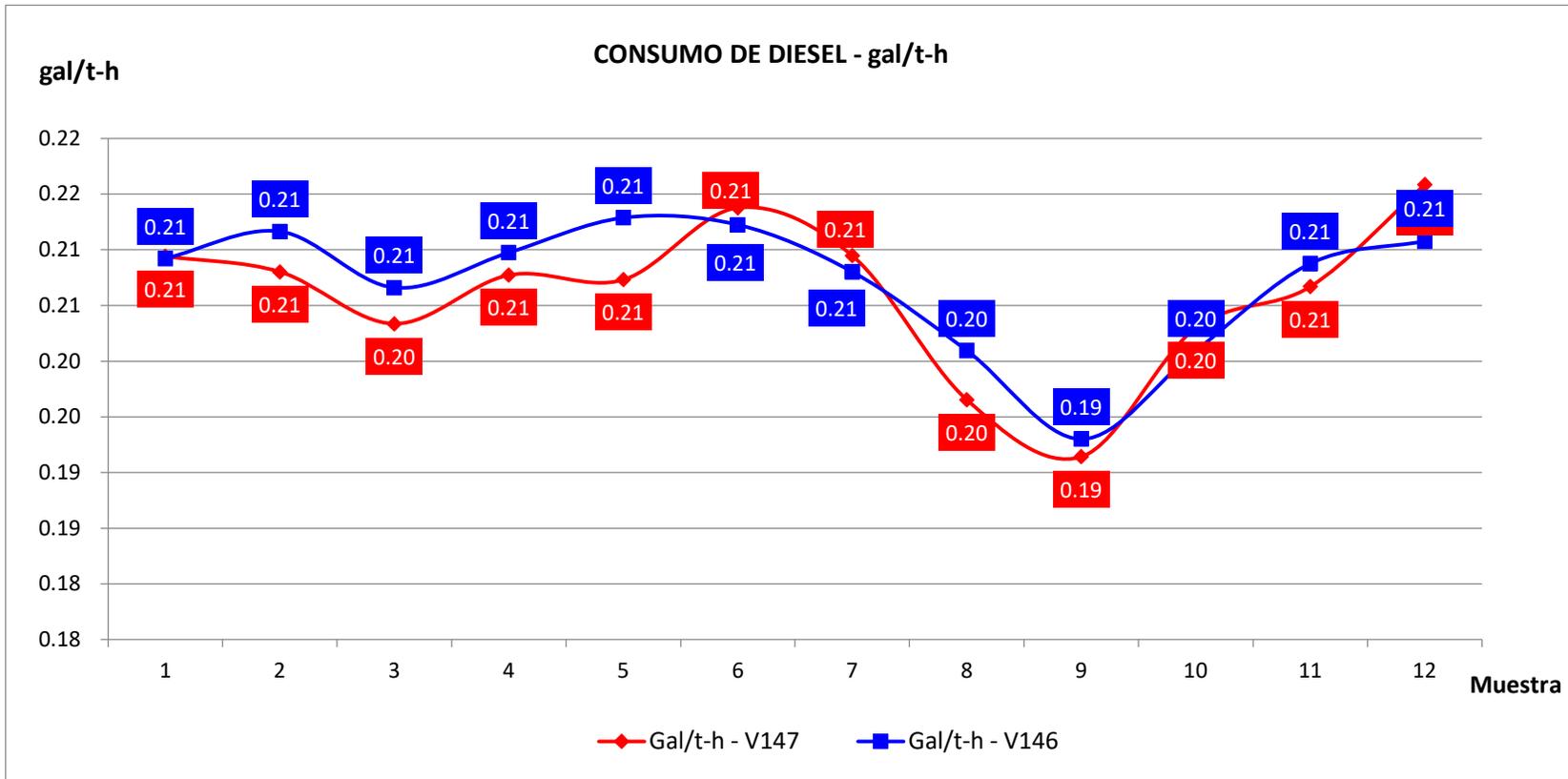


Figura 5.7: Consumo de Diesel – gal/t-h, horas efectivas flota CAT 797F.
Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se llevó a cabo el ejercicio de hacer los cálculos utilizando el horómetro, encontramos que estos datos no son convenientes ya que incluyen tiempos además del puramente productivo, los cuales son muy variables para diferentes equipos y operadores. Por esta razón los resultados del estudio serán en base a los cálculos realizados tomando el dato de las horas efectivas.

6.1 Análisis De La Variación De Consumo en la Flota Komatsu 930E-4SE

Tabla 6.1: Relación de consumo y porcentaje de ahorro

| Volquete | Observación | Tonelaje Movido | Horas Efectivas | Galones | gal/h | gal/t | gal/t - hr. |
|-----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| V115 | Con Aditivo | 1,844 | 55.6 | 3,567 | 64.17 | 1.93 | 0.03 |
| V116 | Sin Aditivo | 1,809 | 55.1 | 3,695 | 67.05 | 2.04 | 0.04 |
| RELACION DE CONSUMO | | | | 3.46% | 4.29% | 5.28% | 6.09% |
| Volquete | Observación | Tonelaje Movido | Horas Efectivas | Galones | gal/h | gal/ton | gal/ton - hr. |
| V115 | Con Aditivo | 2,416 | 77.0 | 5,123 | 66.50 | 2.12 | 0.03 |
| V116 | Con Aditivo | 2,385 | 77.3 | 5,257 | 67.97 | 2.20 | 0.03 |
| RELACION DE CONSUMO | | | | 2.55% | 2.17% | 3.79% | 3.42% |
| PORCENTAJE DE AHORRO | | | | 0.92% | 2.12% | 1.49% | 2.67% |

Fuente: Elaboración propia

El resultado de la comparación realizada en la flota Komatsu 930E-4SE es de una reducción en el consumo de combustible Diesel de 2.67% a consecuencia de la utilización del aditivo TPx.

6.2 Análisis De La Variación De Consumo en la Flota CAT 797F

Tabla 6.2: Relación de consumo -ahorro tomando en cuenta las horas efectivas.

| Volquete | Observación | Tonelaje Movido | Horas Efectivas | Galones | gal/h | gal/ton | gal/ton - hr. |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------------|---------|-------|---------|---------------|
| V147 | Con Aditivo | 1,686 | 80.6 | 5,680 | 70.43 | 3.37 | 0.04 |
| V146 | Sin Aditivo | 1,700 | 79.7 | 5,640 | 70.72 | 3.32 | 0.04 |
| RELACION DE CONSUMO | | | | -0.71% | 0.42% | -1.54% | -0.40% |

| Volquete | Observación | Tonelaje Movido | Horas Efectivas | Galones | gal/h | gal/ton | gal/ton - hr. |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------------|---------|--------|---------|---------------|
| V147 | Con Aditivo | 2,393 | 124.1 | 8,798 | 70.92 | 3.68 | 0.03 |
| V146 | Con Aditivo | 2,418 | 124.2 | 8,704 | 70.06 | 3.60 | 0.03 |
| RELACION DE CONSUMO | | | | -1.09% | -1.24% | -2.17% | -2.32% |

| | | | | | | | |
|----------------------|--|--|--|-------|-------|-------|-------|
| PORCENTAJE DE AHORRO | | | | 0.38% | 1.66% | 0.63% | 1.92% |
|----------------------|--|--|--|-------|-------|-------|-------|

Fuente: Elaboración propia

El resultado de la comparación realizada en la flota Komatsu CAT 797F es de una reducción en el consumo de combustible Diesel de 1.92% a consecuencia de la utilización del aditivo TPx.

6.3 Análisis Beneficio -Costo

La Tabla 6.3 muestra en resumen de la evaluación realizada para estimar el beneficio que genera la utilización del aditivo TPx en la mezcla de combustible a partir de los parámetros actuales de consumo y costos.

Tabla 6.3: Resultados de la evaluación Costo - Beneficio

| | Valor | Unidad |
|--|----------------|------------|
| Consumo diario flota de Volquetes | 56,400 | galón |
| Precio Diesel | 2.6 | USD/galón |
| Gasto Total promedio diario en Diesel | 146,640 | USD |
| Relación de aditivo por combustible | 1:2000 | |
| Consumo diario | 0.103 | tote |
| Costo de un Tote de aditivo TPx | 18,753 | USD/tote |
| Costo del transporte | 37.875 | USD/tote |
| Gasto diario por aditivo | 1,927 | USD |
| Proporción de Ahorro Diesel | 2.3 | % |
| Ahorro de Consumo diario de Diesel | 1,294 | USD |
| Ahorro diario | 3,365 | USD |
| Beneficio Diario | 1,438 | USD |
| Beneficio Anual | 525,052 | USD |

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: El aditivo se adquiere en Totes, un Tote equivale a 275 galones.

El beneficio anual estimado por la utilización del aditivo es de 525,052 USD para las condiciones actuales de la operación y el precio del Diesel, este estimado depende fundamentalmente del precio del Diesel, para el cual se realizó posteriormente el análisis de sensibilidad.

6.4 Análisis de Sensibilidad - Costo de Diésel USD/gal

La figura 6.1 muestra el beneficio que se obtiene en función al precio del diésel, observando que se requiere de un precio mayor a 1.49 US\$/gal para obtener beneficio, considerando el precio del aditivo TPx de 18,753 US\$/Tote para un consumo promedio diario de diésel de 56,400 gal.

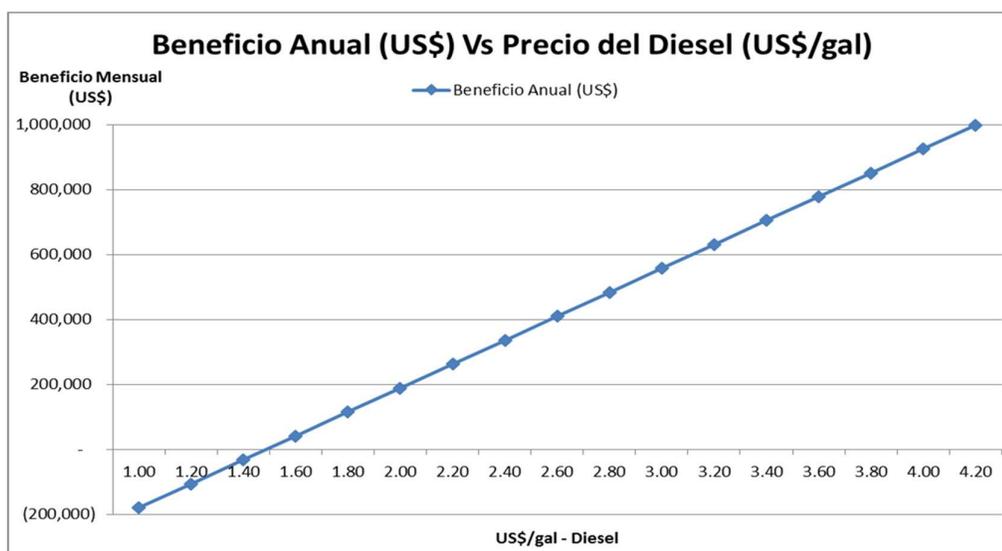


Figura 6.1: Gráfico de análisis de Sensibilidad Costo del Diesel y Ahorro
Fuente: Elaboración Propia.

6.5 Prueba de Hipótesis

Durante el desarrollo de la recolección de datos para este trabajo de suficiencia se establecieron inicialmente las condiciones necesarias en la operación, luego se procesó la data obtenida para así contar con la información más confiable y precisa que sirvan de input en los cálculos que se realizaron posteriormente.

Los cálculos se ejecutaron mediante la utilización de fórmulas matemáticas en un libro de Ms Excel donde se obtuvieron los resultados de los indicadores a

evaluar, adicionalmente se estimó el ahorro en dólares americanos y se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar la afectación del ahorro según el precio del Diesel y a partir de qué precio del mismo y del aditivo era rentable su utilización, siendo todos estos resultados favorables a lo que proponía la hipótesis planteada, como se aprecia en la Tabla 6.4 que resume los resultados.

Tabla 6.4: Resumen de Resultados

| | Valor | Unidad |
|---|---------|---------|
| Reducción de Consumo CAT 797F | 2.67 | % |
| Reducción de consumo Komatsu 930E-4SE | 1.92 | % |
| Precio de Diesel mínimo para tener ahorro | 1.49 | USD/gal |
| Beneficio Diario | 1,438 | USD |
| Beneficio Anual | 525,052 | USD |

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos se demuestra que la utilización del aditivo TPx en la mezcla de combustible de los camiones de acarreo en una mina a tajo abierto si reduce el costo por consumo de Diesel.

CONCLUSIONES

1. La prueba realizada demostró que la utilización del aditivo TPx en la mezcla de combustible reduce el consumo del combustible Diésel en camiones mineros en la actividad de acarreo en 2.67% en la flota Komatsu 930E-4SE y 1.92 % en la flota Caterpillar 797F, lo cual entrega una disminución promedio del consumo de combustible de 2.30 %.
2. Dentro del proceso productivo de mina que para las condiciones existentes en el momento de la evaluación la reducción del consumo de combustible Diesel produce un ahorro estimado diario de 1,438 USD y anual de 525,052 USD, pudiendo este número variar si las condiciones existentes del aditivo y el combustible Diesel en cuanto a precio cambian en el mercado.
3. El mejor indicador para la comparación del consumo en el caso específico de la prueba realizada para el presente trabajo de suficiencia es gal/t-h, porque considera todas las variables que afectan en forma distinta el consumo de combustible de cada equipo que se utilizó para llevar a cabo la prueba, las dimensiones no tomadas en cuenta dentro de los indicadores fueron aquellas para las cuales las condiciones impuestas en la operación las hacían iguales en cada equipo.
4. El análisis de sensibilidad que se obtiene en función a la variación del precio del Diésel, demostró que se requiere de un precio mayor a 1.49 US\$/gal para obtener beneficio en términos de ahorro económico en el costo de combustible, considerando el precio del aditivo TPx de 18,753 US\$/Tote para un consumo promedio diario de diésel de 56,400 galones en el total de la flota de camiones

de acarreo disponible en la operación que ha servido como unidad de análisis para el presente trabajo de investigación.

RECOMENDACIONES

1. Al comprobarse la hipótesis se recomienda extender las pruebas del uso del Aditivo TPx a todos los equipos de la unidad minera que utilicen Diésel como combustible para su funcionamiento como son los tractores, trenes, motoniveladoras, cargadores frontales, retroexcavadoras, perforadoras y equipo liviano
2. Se recomienda realizar el estudio para evaluar el ahorro en gastos de mantenimiento en los equipos en los que se está utilizando el aditivo, teniendo como fundamento que la mejora de la combustión trae como consecuencia una mayor durabilidad y vida útil de los componentes de un motor de combustión interna, además de ser una de las características del producto indicadas por el fabricante.
3. Realizar el estudio para comprobar y medir la reducción de emisiones como consecuencia del uso del aditivo en la unidad minera Cuajone, tomando como referencia la tesis realizada por Roldán Lázaro en el 2017 para la unidad minera subterránea Mina Santander que arrojó resultados positivos en otras condiciones y con otro tipo de maquinaria.
4. Mantener monitoreo constante de las condiciones necesarias para que la utilización del aditivo sea positiva y entregue resultados económicos favorables para la operación.
5. La utilización del aditivo TPx debe formar parte de un conjunto de estrategias que apunten a la mejora constante e incremento de la productividad para ello por ello se recomienda siempre la revisión de las implementaciones que están

actualmente ejecutándose en la operación y tener una política siempre abierta hacia las pruebas de los nuevos productos y tecnologías que constantemente entrega el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- Blank & Tarquin (2006). *Ingeniería Económica*. México: Editorial McGraw Hill.
- Cabezas Cifuentes (2016). *Manual de eficiencia energética para minería* (Tesis Titulo). Universidad de Chile
- Cacua, K. &. (2013). *Revisión de la combustión con aire enriquecido con oxígeno como estrategia para incrementar la eficiencia energética*. Bogota Colombia:
- CAT. (2000). *Caterpillar Performance Handbook*. Illinois USA: Publication by Caterpillar Inc.
- Champi Guzman Marvi (2016). *Reducción de las demoras operativas y optimización de tiempos por abastecimiento de combustible con el sistema VR -300 GPM en los volquetes de mina - Unidad Operativa Cuajone* (Tesis Titulo). Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Escamilla López Miguel (2011). *Estudio de Productividad del Equipo de Carga en una Mina*. Colima México (Tesis Titulo). Instituto Tecnológico de Colima.
- Hadzich Marin Miguel. (2012). *Termodinámica*. Lima-Perú. Editorial Ponteficia Universidad Catolica del Perú.
- Haléco Iberia. (14 de abril 2021). *¿Qué es un contenedor IBC y para qué sirve?* obtenido de <http://www.haleco.es/que-es-un-contenedor-ibc-y-para-que-sirve>.
- Komatsu (2005), *Technical Handbook*. Tokio: Komatsu Inc

- Lefcovich, M. (13 de Abril de 2004). *www.gestiopolis.com*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/kaizen-para-la-eliminacion-de-desperdicios-y-reduccion-de-costos/>
- MINEM. (2015). *La industria de los hidrocarburos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país*. Lima - Perú
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. (2020). *Balance nacional Energético 2014*. Lima – Perú: Editorial Reverté
- Roldán Lázaro. (2017). *Eficiencia Del Uso Del Aditivo Sintético TPx En La Reducción Del Gas de Monóxido De Carbono Emitido Por Los Equipos De Interior Mina De La Unidad Minera Santander* (Tesis Titulo). Universidad Nacional Santiago de Antunez de Mayolo.
- REAL SA. (15 de Junio de 2010). *Optimizacion de la Combustion - Tiempo Real SA*. Obtenido de <http://www.tiemporeal.es/archivos/optimizacioncombustion.pdf>
- TPx Communications. (15 de Junio de 2017). *TPx: Managed IT, Unified Communications & Network Services*. Obtenido de <https://www.tpx.com/>
- Vilchez Espejo. (2021). *Incrementar Capacidad de Tanque de Combustible de 1000 Gal a 2000 Gal a la Flota de Camiones CATERPILLAR 797-F, Para Mejorar su Autonomía y Productividad* (Tesis Titulo). Universidad Nacional de Ingeniería.

ANEXOS

ANEXO 1: Datos de campo

Tabla 1: Datos obtenidos del seguimiento del Camión V115.

| V115 | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------|
| Punto | Fecha | Operador - V115 | Gal Diesel - V115 | Horas Efectivas - V115 | Horas Horómetro - | Galones/Hora - V115 | Galones/Hora (Horóm) - V115 | Factor de Carga - V115 | Gal/t-h (Hrs Efectivas) - V115 | Gal/t-h (Hrs Horom) - V115 | Aditivo TPX - V115 |
| 1 | 21-Mar | J. Gonzales | 912 | 13.9 | 14.6 | 65.7 | 62.5 | 292.3 | 0.22 | 0.21 | SI |
| 2 | 21-Mar | J. Garnica | 347 | 5.4 | 5.7 | 64.5 | 60.9 | 302.9 | 0.21 | 0.20 | SI |
| 4 | 22-Mar | F. Arpasi | 496 | 7.7 | 9.2 | 64.6 | 53.9 | 306.6 | 0.21 | 0.18 | SI |
| 5 | 23-Mar | A. Acevedo | 657 | 10.3 | 11.2 | 63.6 | 58.6 | 312.6 | 0.20 | 0.19 | SI |
| 6 | 23-Mar | F. Arpasi | 632 | 10.0 | 10.1 | 63.2 | 62.6 | 309.5 | 0.20 | 0.20 | SI |
| 9 | 25-Mar | A. Acevedo | 523 | 8.3 | 9.4 | 62.9 | 55.6 | 320.2 | 0.20 | 0.17 | SI |
| 14 | 27-Mar | J. Gonzales | 518 | 8.3 | 9.4 | 62.3 | 55.1 | 300.6 | 0.21 | 0.18 | SI |
| 15 | 28-Mar | J. Garnica | 766 | 11.3 | 11.9 | 67.5 | 64.4 | 293.6 | 0.23 | 0.22 | SI |
| 16 | 28-Mar | R. Castañeda | 525 | 8.5 | 9.8 | 61.9 | 53.6 | 295.5 | 0.21 | 0.18 | SI |
| 17 | 29-Mar | J. Garnica | 651 | 10.0 | 10.6 | 65.0 | 61.4 | 309.1 | 0.21 | 0.20 | SI |
| 18 | 29-Mar | A. Acevedo | 490 | 7.5 | 8.0 | 65.1 | 61.3 | 310.5 | 0.21 | 0.20 | SI |
| 19 | 30-Mar | J. Garnica | 882 | 12.5 | 13.1 | 70.6 | 67.3 | 306.3 | 0.23 | 0.22 | SI |
| 20 | 30-Mar | I. Flores | 504 | 7.8 | 8.6 | 64.9 | 58.6 | 299.7 | 0.22 | 0.20 | SI |
| 21 | 31-Mar | J. Garnica | 787 | 11.1 | 11.9 | 70.9 | 66.1 | 300.7 | 0.24 | 0.22 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Datos obtenidos del seguimiento del Camión V116.

| V116 | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|
| Punto | Fecha | Operador - V116 | Gal Diesel - V116 | Horas Efectivas - V116 | Horas Horómetro - | Galones/Hora - V116 | Galones/Hora (Horóm) - V116 | Factor de Carga - V116 | Gal/t-h (Hrs Efectivas) - | Gal/t-h (Hrs Horom) - V116 | Aditivo TPX - V116 |
| 1 | 21-Mar | A. Zea | 942 | 13.9 | 14.6 | 67.8 | 64.5 | 297.8 | 0.23 | 0.22 | NO |
| 2 | 21-Mar | L. Alvarado | 350 | 5.1 | 5.0 | 68.9 | 70.0 | 284.6 | 0.24 | 0.25 | NO |
| 4 | 22-Mar | S. Osman | 508 | 7.7 | 8.9 | 66.4 | 57.1 | 299.9 | 0.22 | 0.19 | NO |
| 5 | 23-Mar | J. Gonzales | 696 | 10.3 | 11.4 | 67.5 | 61.1 | 298.2 | 0.23 | 0.20 | NO |
| 6 | 23-Mar | S. Osman | 658 | 9.8 | 10.0 | 67.4 | 65.8 | 310.5 | 0.22 | 0.21 | NO |
| 9 | 25-Mar | V. Quispe | 541 | 8.4 | 10.0 | 64.3 | 54.1 | 318.4 | 0.20 | 0.17 | NO |
| 14 | 27-Mar | F. Nieto | 515 | 8.3 | 9.0 | 62.7 | 57.6 | 294.6 | 0.21 | 0.19 | SI |
| 15 | 28-Mar | V. Quispe | 782 | 11.4 | 11.8 | 68.9 | 66.3 | 293.6 | 0.23 | 0.23 | SI |
| 16 | 28-Mar | A. Zea | 536 | 8.5 | 9.7 | 62.8 | 55.3 | 282.0 | 0.22 | 0.20 | SI |
| 17 | 29-Mar | L. Alvarado | 684 | 10.0 | 10.8 | 68.4 | 63.3 | 299.9 | 0.23 | 0.21 | SI |
| 18 | 29-Mar | J. Gonzales | 500 | 7.7 | 8.5 | 64.9 | 58.8 | 312.5 | 0.21 | 0.19 | SI |
| 19 | 30-Mar | S. Osman | 916 | 12.4 | 13.4 | 73.6 | 68.4 | 305.6 | 0.24 | 0.22 | SI |
| 20 | 30-Mar | J. Gonzales | 530 | 7.8 | 8.7 | 67.8 | 60.9 | 302.3 | 0.22 | 0.20 | SI |
| 21 | 31-Mar | S. Osman | 794 | 11.2 | 11.8 | 70.9 | 67.3 | 294.6 | 0.24 | 0.23 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Datos obtenidos del seguimiento del Camión V147.

| V147 | | | | | | | | | |
|--------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------|
| Fecha | Gal Diesel - V147 | Horas Efectivas - V147 | Horas Horómetro - V147 | Galones/Hora - V147 | Galones/Hora (Horóm) - V147 | Factor de Carga V147 | Gal/t-h (Hrs Efectivas) - V147 | Gal/t-h (Hrs Horom) - V147 | Aditivo TPX - V147 |
| 21-Mar | 1209 | 17.1 | 21.0 | 70.8 | 57.5 | 338.0 | 0.21 | 0.17 | SI |
| 22-Mar | 1266 | 17.6 | 19.2 | 71.8 | 65.9 | 345.0 | 0.21 | 0.19 | SI |
| 23-Mar | 1196 | 17.4 | 18.5 | 68.6 | 64.6 | 337.1 | 0.20 | 0.19 | SI |
| 24-Mar | 1144 | 16.2 | 17.4 | 70.6 | 65.7 | 339.7 | 0.21 | 0.19 | SI |
| 25-Mar | 866 | 12.3 | 13.4 | 70.5 | 64.6 | 339.9 | 0.21 | 0.19 | SI |
| 26-Mar | 1246 | 16.7 | 17.1 | 74.4 | 72.9 | 348.2 | 0.21 | 0.21 | SI |
| 27-Mar | 1263 | 17.4 | 19.4 | 72.5 | 65.1 | 346.1 | 0.21 | 0.19 | SI |
| 28-Mar | 1095 | 16.0 | 17.3 | 68.5 | 63.3 | 348.7 | 0.20 | 0.18 | SI |
| 29-Mar | 1156 | 17.6 | 17.9 | 65.7 | 64.6 | 343.0 | 0.19 | 0.19 | SI |
| 30-Mar | 1363 | 19.0 | 20.0 | 71.7 | 68.2 | 353.4 | 0.20 | 0.19 | SI |
| 31-Mar | 1342 | 18.9 | 19.8 | 70.9 | 67.8 | 343.0 | 0.21 | 0.20 | SI |
| 01-Abr | 1334 | 18.4 | 19.7 | 72.6 | 67.7 | 336.1 | 0.22 | 0.20 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Datos obtenidos del seguimiento del Camión V146.

| V146 | | | | | | | | | |
|--------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Fecha | Gal Diesel - V146 | Horas Efectivas - V146 | Horas Horómetro - V146 | Galones/Hora - V146 | Galones/Hora (Horóm) - V146 | Factor de Carga - V146 | Gal/t-h (Hrs Efectivas) - V146 | Gal/t-h (Hrs Horom) - | Aditivo TPX - V146 |
| 21-Mar | 1195 | 17.1 | 19.1 | 69.7 | 62.6 | 333.1 | 0.21 | 0.19 | NO |
| 22-Mar | 1271 | 17.5 | 17.9 | 72.7 | 71.0 | 343.4 | 0.21 | 0.21 | NO |
| 23-Mar | 1192 | 17.5 | 19.5 | 68.2 | 61.1 | 330.3 | 0.21 | 0.19 | NO |
| 24-Mar | 1146 | 16.0 | 17.5 | 71.4 | 65.5 | 340.5 | 0.21 | 0.19 | NO |
| 25-Mar | 836 | 11.6 | 12.5 | 72.1 | 66.7 | 338.7 | 0.21 | 0.20 | NO |
| 26-Mar | 1242 | 16.8 | 16.5 | 74.1 | 75.4 | 349.2 | 0.21 | 0.22 | SI |
| 27-Mar | 1250 | 17.2 | 19.9 | 72.6 | 62.8 | 348.8 | 0.21 | 0.18 | SI |
| 28-Mar | 1128 | 16.5 | 18.9 | 68.5 | 59.7 | 341.0 | 0.20 | 0.18 | SI |
| 29-Mar | 1124 | 17.1 | 16.7 | 65.6 | 67.3 | 339.7 | 0.19 | 0.20 | SI |
| 30-Mar | 1319 | 19.2 | 20.0 | 68.9 | 66.0 | 342.7 | 0.20 | 0.19 | SI |
| 31-Mar | 1330 | 18.9 | 19.7 | 70.3 | 67.5 | 336.6 | 0.21 | 0.20 | SI |
| 01-Abr | 1311 | 18.6 | 19.1 | 70.6 | 68.6 | 334.8 | 0.21 | 0.20 | SI |

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2: Flota Komatsu 930E-4SE

930E-4SE ELECTRIC DRIVE TRUCK

SPECIFICATIONS



ENGINE

| | |
|---------------------|------------------------------------|
| Make and model | Komatsu SSDA18V170 |
| Fuel | Diesel |
| Number of cylinders | 18 |
| Operating cycle | 4 cycle |
| Gross horsepower | 2611 kW 3,500 HP @ 1900 rpm |
| Net flywheel power* | 2495 kW 3,346 HP @ 1900 rpm |
| Weight (wet) | 10100 kg 22,266 lb |

* Net flywheel power is the rated power at the engine flywheel minus the average accessory losses. Accessories include fan and charging alternator.
Power ratings above represent engine performance in accordance with SAE J1995 and J1349 conditions.



ELECTRIC DRIVE

| | |
|------------------------------|---|
| AC CURRENT | GTA-39 |
| Alternator | 453 m ³ /min 16,000 cfm |
| Dual impeller in-line blower | AC Torque Control System |
| Control | Motorized wheels* |
| | GDY106 AC Induction Traction Motors |
| Ratio** | 32.62:1 |
| Speed (maximum) | 64.5 km/h 40 mph |

* Wheel motor application depends upon gross vehicle weight, haul road grade, haul road length, rolling resistance and other parameters. Komatsu and G.E. must analyze each job condition to assure proper application.
** Optional ratios available.



TIRES AND RIMS

| | |
|---|-----------|
| Rock service, tubeless, radial tires | 53/80 R63 |
| Standard tire* | |
| Taper Lock | |
| 914 mm x 1600 mm x 127 mm 36" x 63" x 5.0" rim assembly | |
| Rated at 758 kPa 110 psi cold inflation pressure for rims, | |
| 600 kPa 87 psi for tires. | |

* Tires should meet application requirements for tkph/tnph, tread, compound, inflation pressure, ply rating or equivalent, etc.



BODY

All-welded steel flat floor body with horizontal bolsters and full canopy. Eyebrow, rear wheel rock ejectors, body up sling, and rubber mounts on frame are standard. Pivot exhaust heating optional.

| | |
|------------------------------|--|
| Floor sheet | 16 mm 0.63" 1379 MPa 200,000 psi tensile strength steel (two-piece) |
| Front sheet | 9 mm 0.35" 1379 MPa 200,000 psi tensile strength steel |
| Side sheet | 8 mm 0.31" 1379 MPa 200,000 psi tensile strength steel |
| Canopy sheet | 5 mm 0.19" 690 MPa 100,000 psi tensile strength steel |
| Standard SAE heaped 2:1 | 211 m ³ 276 yd³ |
| Standard Komatsu body weight | 30362 kg 66,936 lb |

* Komatsu must approve all bodies through a Body Application Worksheet.



CAB

Advanced Operator Environment with integral 4-post ROPS/FOPS structure (meets J1040 Apr88), adjustable air suspension seat w/lumbar support and arm rests, passenger seat, maximum R-value insulation, tilt and telescoping steering wheel, electric windshield wipers w/washer, tinted safety glass, power windows, Komatsu Payload Weighing System, 55,000 Btu/hr heater and defroster, 21,600 Btu/hr air conditioning (HFC - 134A refrigerant).



FRAME

Advanced technology, full butt-welded box sectional ladder-type frame with integral ROPS supports, integral front bumper, rear tubular cross members, steel castings at all critical stress transition zones, rugged continuous horsecollar.

| | |
|--------------------------------|---|
| Plate material | 482.6 MPa 70,000 psi tensile strength steel |
| Casting material | 620.5 MPa 90,000 psi tensile strength steel |
| Rail width | 305 mm 12" |
| Rail depth (minimum) | 864 mm 34" |
| Top and bottom plate thickness | 45 mm 1.77" |
| Side plate thickness | 25 mm 0.98" |
| Drive axle mounting | Pin and spherical bushing |
| Drive axle alignment | Swing link between frame and axle |



BRAKING SYSTEM

Service brakes: oil-cooled, hydraulic-actuated, multiple disc brakes at each wheel. Traction system wheel slip/slide control.

| | |
|---|---|
| Max. service apply pressure | 17237 kPa 2500 psi |
| Total friction area per brake | 97025 cm ² 15,038 in² |
| Secondary brakes | Automatically applied prior to hydraulic system pressure dropping below level required to meet secondary stopping requirements. |
| Wheel brake locks | Switch activated |
| Parking brakes | Multiple disc, spring-applied, hydraulically-released, dry brakes on inboard end of each wheel motor rotor shaft. Rated to hold on ±15% grade @ maximum gross vehicle weight. |
| Electric dynamic retarder | Max 4026 kW 5400 hp Continuous 2909 kW 3900 hp |
| Continuously rated high-density blown grids w/retard at engine idle and retard in reverse propulsion. | |



SUSPENSION

Variable rate hydro-pneumatic with integral rebound control

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Max. front stroke | 328 mm 12.92" |
| Max. rear stroke | 239 mm 9.40" |
| Max. rear axle oscillation | ±6.5° |

* Rear suspensions are inverted.



COOLING SYSTEM

L&M radiator assembly, split-flow, with deaeration-type top tank measuring 3277 mm x 2164 **10'9" x 7'1"**.



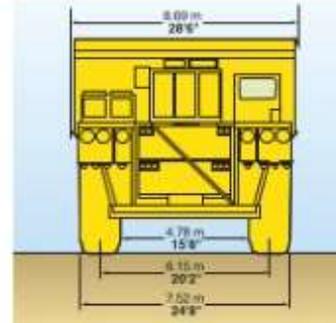
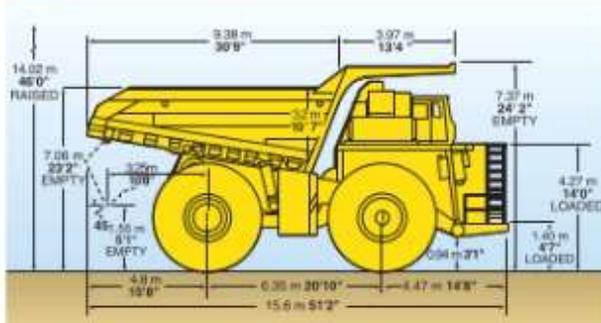
SERVICE CAPACITIES

| | |
|-----------------------|-----------------------------|
| Cooling System | 719 L 190 U.S. gal |
| Crankcase* | 341 L 90 U.S. gal |
| Hydraulic system | 1325 L 350 U.S. gal |
| Motor gear box (each) | 95 L 25 U.S. gal |
| Fuel | 5300 L 1400 U.S. gal |

* Includes lube oil filters



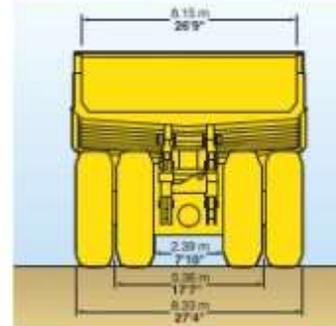
DIMENSIONS



All dimensions are with 216 m³ 285 yd³ body (optional body).

| Bodies | Struck | 2:1 Heap | *Loading Height |
|----------|--|--|-----------------|
| Standard | 171 m ³ 224 yd ³ | 211 m ³ 276 yd ³ | 7.06 m 23'2" |

* Exact load height may vary due to tire make, type, and inflation pressure.



HYDRAULIC SYSTEM

- Steering Accumulator assisted with twin double acting cylinders provide constant rate steering. Secondary steering automatically supplied by accumulator.
- Turning circle diameter (SAE) 29.7 m 97'7"
- Reservoir 947 L 250 U.S. gal
- Filtration In-line replaceable elements
- Suction Single, full flow, 100 mesh
- Hoist and steering Dual, in-line, high pressure.
- Brake component cabinet Above deck, easily accessible with diagnostic test connections.
- Hoist Two 3-stage dual-acting outboard cylinders, internal cushion valve, over-center dampening.
- Hoist times
- Power-up loaded 21 sec
- Power-down 23 sec
- Float-down empty 24 sec
- Pumps Two pumps, single package, and of alternator
- Hoist and brake cooling Tandem gear pump with output of 1022 lpm 270 gpm at 1900 rpm and 17237 kPa 2,500 psi
- Steering and brake Pressure-compensating axial piston pump with output of 246 lpm 65 gpm at 1900 rpm and 18961 kPa 2,750 psi
- System relief pressures
- Hoist and brake cooling 17237 kPa 2,500 psi
- Steering and brake 27579 kPa 4,000 psi
- Quick disconnects standard for systems diagnostics and buddy dump.



ELECTRICAL SYSTEM

- 4 x 8D and 2 x 30H, 220-ampere-hour batteries, bumper-mounted with disconnect switch.
- Alternator 24 volt, 140 amp
- Lighting 24 volt
- Cranking motors two/24 volt



WEIGHT DISTRIBUTION

| Empty Vehicle | kg | lb | % |
|----------------------------------|--------|---------|------|
| Front axle | 104459 | 230,293 | 48.5 |
| Rear axle | 110847 | 244,377 | 51.5 |
| Total (wet, 100% fuel) | 215307 | 474,670 | |

| Loaded Vehicle at maximum GVW rating | kg | lb | % |
|--------------------------------------|--------|-----------|------|
| Front axle | 165956 | 365,871 | 32.8 |
| Rear axle | 339649 | 748,799 | 67.2 |
| Total | 505755 | 1,115,000 | |

NOTE: GVW shall not exceed 505755 kg 1,115,000 lb including options, lines, fuel and payload, subject to approval or approval by Komatsu.

NOTE: Komatsu hooks comply with SAE specifications for cable reeving, ROPS, steering and braking. Cover photos and illustrations may show optional equipment. Materials and specifications subject to change without notice.

ANEXO 3: Flota Caterpillar CAT 797F

Specifications

Engine

| | | |
|-------------------------|-------------|-----------------------|
| Engine Model | Cat C175-20 | |
| Gross Power – SAE J1995 | 2983 kW | 4,000 hp |
| Net Power – SAE J1349 | 2828 kW | 3,793 hp |
| Bore | 175 mm | 6.9 in |
| Stroke | 220 mm | 8.7 in |
| Displacement | 106 L | 6,469 in ³ |

- Power ratings apply at 1,750 rpm when tested under the specific conditions for the specified standard.
- Ratings based on SAE J1995 standard air conditions of 25° C (77° F) and 99 kPa (29.32 Hg) barometer. Power based on fuel having API gravity of 35 at 16° C (69° F) and an LHV of 42 780 kJ/kg (18,390 Btu/lb) when engine is used at 30° C (88° F).
- No low altitude arrangement (LAA) engine derating required up to 2134 m (7,000 ft) altitude.
- No high altitude arrangement (HAA) engine derating required up to 4877 m (16,000 ft) altitude.
- Emission Standards. Where applicable, the Cat C175-20 engine is compliant with current U.S. EPA emission standards.

Weights – Approximate

| | | |
|---|--------------------|--------------------|
| Target Gross Machine Operating Weight (GMW) | 623 890 kg | 1,375,000 lb |
| Body Weight Range | 41 368-61 235 kg | 91,200-135,000 lb |
| Chassis Weight Range | 210 630-219 146 kg | 464,359-483,134 lb |

- Refer to the Cat Mining Truck 10/10/20 Payload Policy for maximum gross machine weight limitations.
- Body weight varies depending on body and liner configuration. Weight range for known applications.
- Chassis weight with 100 percent fuel, hoist, body mounting group, rims and tires.

Operating Specifications

| | | |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Nominal Payload Capacity | 363 tonnes | 400 tons |
| Heaped SAE (2:1) Capacity | 240-267 m ³ | 314-350 yd ³ |
| Top Speed – Loaded | 67.6 km/h | 42 mph |
| Steer Angle | 40 Degrees | |
| Machine Clearance Turning Diameter | 42 m | 138 ft |

Final Drives

| | |
|-----------------------|---------|
| Differential Ratio | 1.276:1 |
| Planetary Ratio | 16.67:1 |
| Total Reduction Ratio | 21.28:1 |

- Double reduction, planetary with full floating axles.

Transmission

| | | |
|-----------|-----------|----------|
| Forward 1 | 11.3 km/h | 7 mph |
| Forward 2 | 15.2 km/h | 9.5 mph |
| Forward 3 | 20.5 km/h | 12.7 mph |
| Forward 4 | 27.7 km/h | 17.2 mph |
| Forward 5 | 37.2 km/h | 23.1 mph |
| Forward 6 | 50.3 km/h | 31.2 mph |
| Forward 7 | 67.6 km/h | 42 mph |
| Reverse | 11.9 km/h | 7.4 mph |

Suspension

| | | |
|-----------------------------------|--------------|---------|
| Effective Cylinder Stroke – Front | 313.6 mm | 12.3 in |
| Effective Cylinder Stroke – Rear | 165.1 mm | 6.5 in |
| Rear Axle Oscillation | ±4.0 degrees | |

Body Hoists

| | | |
|-----------------------------------|------------|-------------|
| Pump Flow – High Idle | 1200 L/min | 317 gal/min |
| Relief Valve Setting – Raise | 24 200 kPa | 3,510 psi |
| Body Raise Time – High Idle | 25 Seconds | |
| High Idle Body Lower Time – Float | 19 Seconds | |

Brakes

| | | |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Number of Discs per Side – Front | 10 | |
| Number of Discs per Side – Rear | 15 | |
| Outside Diameter | 1067 mm | 42 in |
| Brake Surface Standards | 330 517 cm ² | 51,243 in ² |
| | ISO 3450:2011 | |

Approximate Weights – MSD II

| | |
|---------------------|-------|
| Front Axle – Empty | 47.2% |
| Front Axle – Loaded | 33.3% |
| Rear Axle – Empty | 52.8% |
| Rear Axle – Loaded | 66.7% |

Weight Distributions – Approximate

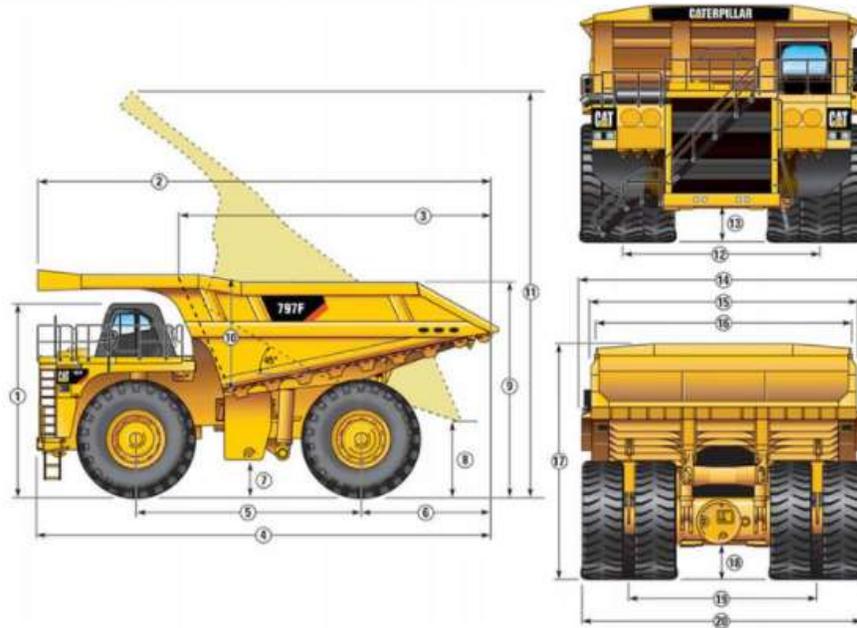
| | |
|---------------------|-------|
| Front Axle – Empty | 47.2% |
| Rear Axle – Empty | 52.8% |
| Front Axle – Loaded | 33.3% |
| Rear Axle – Loaded | 66.7% |



Dimensions

All dimensions are approximate.

Dimensions are with standard body 290-6420.



| | | |
|------------------------------------|-----------|-------------|
| 1 Height to Top of ROPS – Empty | 6526 mm | 21 ft 5 in |
| 2 Overall Body Length | 14 802 mm | 48 ft 7 in |
| 3 Inside Body Length | 9976 mm | 32 ft 9 in |
| 4 Overall Length | 15 080 mm | 49 ft 6 in |
| 5 Wheelbase | 7195 mm | 23 ft 7 in |
| 6 Rear Axle to Tail | 3944 mm | 12 ft 11 in |
| 7 Loaded Ground Clearance | 786 mm | 2 ft 7 in |
| 8 Dump Clearance | 2017 mm | 6 ft 7 in |
| 9 Loading Height – Empty | 6998 mm | 23 ft 0 in |
| 10 Inside Body Depth – Maximum | 3363 mm | 11 ft 0 in |
| 11 Overall Height – Body Raised | 15 701 mm | 51 ft 6 in |
| 12 Centerline Front Tire Width | 6534 mm | 21 ft 5 in |
| 13 Engine Guard Clearance – Loaded | 1025 mm | 3 ft 4 in |
| 14 Outside Body Width | 9755 mm | 32 ft 0 in |
| 15 Overall Canopy Width | 9116 mm | 29 ft 11 in |
| 16 Inside Body Width | 8513 mm | 27 ft 11 in |
| 17 Front Canopy Height – Empty | 7709 mm | 25 ft 4 in |
| 18 Rear Axle Clearance – Loaded | 947 mm | 3 ft 1 in |
| 19 Centerline Rear Dual Tire Width | 6233 mm | 20 ft 5 in |
| 20 Overall Tire Width | 9529 mm | 31 ft 3 in |

ANEXO 4: Aditivo TPx HD

TPx HD:

- 100% formula sintética y segura
- Integra oxígeno al combustible
- Reduce emisiones tóxicas y partículas suspendidas
- Dispersa agua
- Aumenta la lubricidad del diésel
- Limpia suavemente sistema de combustión
- Aumenta ligeramente el número de cetano del diésel
- Reduce el punto de nebulosidad
- Estabiliza combustible
- Protege el control de gases de escape como catalizadores y filtros para las partículas suspendidas

Disponibilidad:

Caja de 12 botellas de 0.47 litros (1.5 galones)

Caja de 12 botellas de 950 ml (3 galones)

Caja de 4 botellas de 3.8 litros (4 galones)

Caja dos botellas de 9.46 litros (5 galones)

Tambor de 208 litros (55 galones)

Tote de 1,041 litros

Tote de 1,249 litros

TPx HD es un aditivo sintético y multifacético para combustible diésel formulado con mezclas químicas con propiedades oxigenantes y de detergencia. Cuando TPx HD se mezcla con diésel, limpia el combustible y los componentes del sistema por medio de dispersar el agua y solubilizar las gomas y lodos. TPx HD rompe la tensión superficial de agua suspendida mediante la neutralización de las cargas iónicas que se unen las moléculas de agua. TPxHD disminuye la tensión superficial del agua suspendida; las moléculas se dispersan uniformemente por todo el combustible. TPx HD impide el crecimiento microbiano y de bacteria que es causa frecuente de: fallas de la bomba de combustible, la oxidación, los bloqueos, los depósitos de gomas, y las fallas en los inyectores. TPx HD mejora al instante el estado de todos los componentes críticos del sistema de combustible. TPx HD integra oxígeno líquido molecular al diésel para facilitar una combustión limpia y completa, logrando una mejoría de la eficiencia de combustible.

Menos Costo de Combustible. Reduce consumo de combustible por 4%–8%, prolonga intervalos de mantenimiento, inhibe bacteria, limpia inyectores, reduce desgaste de motor. TPx HD inhibe la transformación de SO₂ a SO₃, y reduce la cantidad total de SO_x.

Promedio de Reducción de Emisiones:

| | |
|--------------------|-----------|
| PM (Hidrocarburos) | 40% – 90% |
| NOx | 10% – 20% |
| CO | 40% – 60% |

Propiedades Típicas:

| | |
|----------------------|------------------|
| Color | Naranja |
| Densidad a 20 °C | 0.91 |
| Punto de inflamación | 65 °C (149 °F) |
| Punto de congelación | -75 °C (-103 °F) |
| Viscosidad | 2.9 cP a 25 °C |
| BTU: | 15,600 BTU/lb |

Tratamiento:

La relación de TPx HD es: Un mínimo de un litro de aditivo para cada mil litros hasta un máximo de dos mil quinientos litros de combustible (1:1000 – 1:2500).

Es recomendable usar mayor concentración en operaciones subterráneas, de gran altura y en casos de combustibles muy sucios

Seguridad:

Antes de usarlo, favor de leer la Hoja de Seguridad.



HOJA DE SEGURIDAD

Abreviaciones usadas en esta hoja de seguridad:

N/av. = No disponible, N/ap = No aplica, ppm = partes por millon, TLV = Valor de Nivel limite.

SECCION 1 – IDENTIFICACION

| | | | | | |
|----------------------|---|---------|------------|----------|-----|
| NOMBRE DEL PRODUCTO: | TP^X HD & Ntek TOTAL POWER E.P.A. REGISTRATION N ^o 1905-0001 PER. 40CFR 79.23 | | | | |
| USO DEL PRODUCTO: | MEJORADOR DE COMBUSTIBLE DIESEL Y COMBUSTOLEO | | | | |
| FABRICANTE: | TOTAL POWER, INC. | | | | |
| DOMICILIO: | 4908 LADERA SARINA DR. | | | | |
| CIUDAD: | DEL MAR | estado: | CALIFORNIA | COUNTRY: | USA |

SECCION 2 – INFORMACION DE EMERGENCIA

Números Telefónicos de Emergencia en U.S.A.: Chemtrec (800) 424-9300 ; Eastman (800) EASTMAN ; Exxon Chemical Company (800) 726-2015

Crown Chemical Corp. (619) 421-294-6000 Emergency Response Guide # 128

Información de emergencia en Transporte U. S. A.: (423) 229-2000 U.S.A

En caso de accidente o emergencia química en México hablar al 01 800 00 214 00

SECCION 3 - COMPOSICION

| MATERIALES PELIGROSOS | % | Chemical Abstract Services Numero (CAS) | ACGIH (TLV) | OSHA |
|---|-------|--|----------------|---------|
| Ethylene Glycol Monobutyl Ether | 60-90 | 111-76-2 | 20 PPM | 50 PPM |
| Dipropylene Glycol Monomethyl Ether | 5-30 | 34590-94-8 | 100 PPM | 100 PPM |
| Benzenesulfonic acid, C10-16 Alkyl Derivs | 3-10 | 68548-22-5 | 0.2 mg/m3 | 1 mg/m3 |
| Aliphatic Monocarboxylic acids | 3-10 | 112-80-1 | N/ap | N/ap |
| Ethylene Glycol Monobutyl Ether Acetate | 3-10 | 112-07-3 | 20 PMM | 50 PMM |
| Oxido de Magnesio (particulas menores a 10 nanómetros) puede contener todos o alguno de estos productos | | | | |
| Contiene químicos y/o enzimas no peligrosos. La información de este producto se considera como propiedad de Total Power, inc. All pertinent information has been provided, per the trade secret requirements of U.S. Federal Occupational Safety and Health Administration Standards (29 CFR 1910.1200) Information on this mixture will be released when conditions specified in 29 CFR 1910.1200 are met. | | | | |

SECCION 4 – INFORMACION DE PELIGRO Y NIVEL

PRECAUCION!

PELIGRO FISIOQUIMICO: Ninguno.

PELIGRO A LA SALUD: Dañino por inhalación, en contacto con la piel, y a la ingestión. Irritante de las vias respiratorias.

DAÑO AL MEDIO AMBIENTE: No se encuentra clasificado como dañino al medio ambiente.

HMIS Grado de peligro: Salud – 1, Flamabilidad – 2, Reactividad Química - 1

NFPA: Grado de peligro – Salud -2, Flamabilidad – 2, Instabilidad – 0

CLAVE: Severa=4 Seria= 3, Moderada= 2, Ligera = 1, Mínima = 0.

SECCION 5 – MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

INHALACION: Mueva a la victima a el aire fresco. Si no respira, aplique respiración artificial. Si se dificulta la respiración de le oxígeno
INGESTION: Llame un medico inmediatamente. No induzca el vómito. Si la victima esta consciente, hagala beber mucha agua, para diluir el material ingerido. No de nada a ingerir a una persona inconsciente o con convulsiones.

CONTACTO CON LA PIEL: Remueva las prendas contaminadas. Enjuague la piel por 20 minutos con agua y jabon. Lave las prendas de vestir antes de volver a usar.

CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuague con agua por 20 minutos. Solicite opinion medica .

GENERAL: Solicite opinion medica si ocurre cualquier reacción alergica.

SECCION 6 – MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO

MATERIALES EXTINGUIDORES:

Dioxido de carbono, polvo químico seco, espumas químicas.

Equipo de protección:

Los bomberos deberán usar mascararas contra gases y vestimenta de protección completa. Use riego de agua en el producto para mantenerlo en temperatura inferior al punto de inflamación.

PELIGRO DE EXPONERSE:

La combustion generara óxidos de carbono toxicos.

SECCION 7 – DERRAME ACCIDENTAL

PRECAUCION A PERSONAS:

Evite el contacto a piel y ojos usando el equipo de protección personal adecuado. Evite inhalación excesiva, usándolo en areas bien ventiladas, o usando equipo respiratorio adecuado .

PRECAUCIONES AL MEDIO AMBIENTE:

Este producto representa peligro mínimo en su empaque. Evite escurrimientos a depósitos de agua que contengan vida marina. Para recogerlo use materials absorbents.

MEDIDAS DE REMEDIO:

Use prendas de protección personales adecuadas. Elimine toda fuente de ignición. Contenga derrames con barreras y productos absorbentes. Recojalo en envases adecuados. El area de derrame puede volverse resbalosa. Desheche líquidos o el material absorbente de acuerdo con las leyes locales, regionales y nacionales. No vierta el producto derramado en estanques o depositos de agua subterranos.

SECCION 8 – MANEJO Y ALMACENAJE

VENTILACION:

Use una combinación de ventilación, natural y artificial. Puede requerir proporciones mayores cuando se maneja en grandes cantidades o lugares muy cerrados.

POLVO O CONTROL DE AEROSOLES:

No se generan durante el uso normal.

EQUIPO:

Use equipo de personal adecuado. El vertir continuamente puede producir una carga estática, que puede producir inflamación de vapores.

OTROS:

Mantenga los recipientes bien cerrados y retirado de niños. Almacense en lugares frescos, secos y lejos de Fuentes de ignición. No se congele.

SECCION 9 – CONTROL DE EXPOSICION

| LIMITES DE EXPOSICION: | ACGIH | OSHA | OTHER | CAS NUM |
|---|--------|---------|-------|------------|
| Tiempo sugerido-por peso, promedio de contacto en el aire = | 20 ppm | 50 ppm | skin | 111-76-2 |
| | 100ppm | 100 ppm | n/a | 34590-94-8 |

PROTECCION A LA RESPIRACION:

No requiere protección dentro de los usos normales. En casos de exposición extremada, use una máscara adecuada.

PROTECCION A MANOS:

El uso de guantes es recomendable. Los guantes recomendados son de Hule butílico o Saranex.

PROTECCION A LOS OJOS:

Lentes de seguridad para productos químicos es recomendable. No use lentes de contacto. Use estación de lavado.

PROTECCION A LA PIEL:

Use overoles. Use calzado adecuado.

SECCION 10 – PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS

| | | | |
|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|
| APARENCIA: | Líquido Rojiso. O Verdoso | OLOR: | Ligeramente dulce |
| Pb: | N/A | PUNTO DE EBULLICION: | 339° F – 54° F 171 C |
| PUNTO DE DERRITIR: | N/A | PUNTO DE INFLAMACION: | 152° F 67° C |
| FLAMABILIDAD | Vapor flamable. | AUTOINFLAMACION: | 238° C |
| PROPIEDADES EXPLOSIVAS: | Ninguna. | PROPIEDADES OXIDANTES: | Ninguna. |
| PRENSION DE VAPOR: At, 20°C | 10 mm Hg. | DENSIDAD RELATIVA | 0.90 @ 20 C |
| SOLUBILIDAD: | 100% en agua | GRADO DE EVAPORACION: | Aprox. 0.03 – 0.06 |
| DENSIDAD DE VAPOR (AIR=1) | 4.1-6 | | |

SECCION 11– ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

ESTABILIDAD QUIMICA:

SI X NO Estable bajo condiciones normales de uso. Estable bajo condiciones de luz, calor o aire normales

INCOMPATIBILIDAD

SI X NO Evite oxidantes fuertes y Fuentes de ignición

REACTIVIDAD

Nose polimeriza, ataca barnices y ciertos recubrimientos.

| SECCION 12- PROPIEDADES TOXICOLOGICAS | | | |
|---|---------------|--------------------------|---|
| PUNTO DE CONTACTO: | CON LA PIEL | X | ABSORCION POR LA PIEL X CONTACTO CON LOS OJOS X INHALACION X INGESTION X |
| EFFECTOS DE EXPOSICION SEVERA: La inhalación puede causar irritación nasal y de garganta. En concentraciones muy grandes puede causar inconsciencia, daño a los riñones y al hígado. Causa ligera irritación al contacto, el vapor es irritante a la vista, líquido puede causar irritación, enrojecimiento de ojos y daño a la córnea que se cura en breves días. Ligeramente tóxico si se ingiere. No induzca el vomito. Beba una cantidad grande de agua. | | | |
| NARCOSES: | IRRITABILIDAD | SENSIBILIDAD | CARCINOGENICITY: |
| No reportada | | Como se menciona arriba. | . |
| TERATOGENICITY: | | | |
| Not reported. | | | |
| SECCION 13- INFORMACION ECOLOGICA | | | |
| MOBILIDAD Completamente soluble en agua. | | | |
| DEGRABILIDAD Altamente biodegradable, debido a su estructura química | | | |
| ACUMULACION: No se acumula en sistemas biológicos. | | | |
| OTROS EFECTOS: No tiene potencial de crear o destruir el ozono. | | | |
| SECCION 14 - CONSIDERACIONES DE DESHECHO | | | |
| No se considera peligroso el producto de deshecho. Destruyalo de acuerdo con las leyes locales, regionales y nacionales. | | | |
| SECCION 15 - INFORMACION DE TRANSPORTE | | | |
| LATA CLASIFICACION DE PRODUCTOS PELIGROSOS DOT- No regulado AIR - international Civil Aviation Organization (ICAO) ICAO: No regulado SEA- International Maritime Dangerous Goods (IMDG) IMDG Status: No regulado SISTEMA DE EVALUACION E IDENTIFICACION DE RIESGOS: HAZARDOUS MATERIAL IDENTIFICATION SYSTEM RATING (HMIS) HMIS Hazard Ratings: Salud - 1, Flamabilidad - 2, Reactividad química - 1 NFPA Hazard Ratings: Salud - 2, Flammabilidad - 2, Inestabilidad - 0 CLAVE: Severa=4 Seria= 3, Moderada= 2, Ligera = 1, Mínima = 0. | | | |
| SECCION 16 - INFORMACION LEGAL | | | |
| CONSIDERACIONES: Cumple con todos los reglamentos nacionales de seguridad. NOTA Este documento se entrega de Buena fe y esta preparado de acuerdo con el MSDS de OSHA Hazard Communication Standard 29 CFR 1910.1200. Sin embargo no se garantiza de ninguna manera esta información. es responsabilidad del consumidor comprobar que cumple con los reglamentos locales, regionales y nacionales. (CERCLA) Comprehensive Response Compensation and Liability Act. The reportable quantity (RQ) is 1lb. (0.5 Kg.) and must be reported to the National Response Center at 1-800-424-8802 (SARA) (USA) Super Fund Amendments and Reauthorization Act Product subject to the reporting stipulations of Title III or Section 313 of 1986. Sections 311 and 312 hazard classification(s): fire hazard delayed health hazard (chronic), immediate health hazard (acute). (TSCA) US Toxic Substances Control Act. Product listed on the TSCA Inventory. | | | |