

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“MEJORA DEL TIEMPO DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE EN
CAMIONES KOMATSU 930E4 IMPLEMENTANDO LA METODOLOGÍA
SIX SIGMA”**

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

**ELABORADO POR
EMANUEL EDY DE LA CRUZ ROMERO**

**ASESOR
MBA. ING. VICTOR MANUEL HERNÁNDEZ DÍAZ**

LIMA-PERU

2022

DEDICATORIA

A Ariatna, Sebastián, Alba y Angélica quienes alimentan mi corazón cada día, a mis padres por el apoyo incondicional a lo largo de esta vida y a todas las personas que son agentes de cambio y rompen paradigmas para ser cada día mejor...

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la UNI, mi querida *alma mater*, que desde muy joven me enseñó la constancia para perseguir mis sueños, ya en sus aulas, me enseñó a valorar la diversidad y me mostró la inmensa capacidad intelectual que tenemos en nuestro país, años después fuera de las aulas, me enseñó el respeto y la responsabilidad de ser un embajador de su nombre.

RESUMEN

En el presente trabajo de suficiencia se detallan cuatro proyectos implementados en Compañía Minera Antamina S.A. enfocados en la mejora del proceso de abastecimiento de combustible utilizando la metodología Six Sigma. El objetivo principal es reducir las demoras operativas relacionadas con el abastecimiento de combustible, incrementando de esta forma la utilización de los camiones de acarreo, lo cual se traduce en un mayor tonelaje movido por año, haciendo más productiva y rentable a la compañía.

El proyecto “Estandarización de la información en tiempo real con el sistema Dispatch” consiste en la implementación de un programa que a través de una serie de instrucciones automáticas transfiere información de la base de datos de Repsol a Dispatch en tiempo real y de manera confiable.

El proyecto “Incremento de abastecimiento de 750 galones a 950 galones en camiones Komatsu” se centra en aumentar y estandarizar la cantidad de galones abastecidos por camión, reduciendo así la variabilidad del proceso y las veces que un camión abastece combustible por día/semana.

El proyecto “Mejora del proceso de abastecimiento de combustible” se basa en la revisión y análisis de procedimiento actual a fin de identificar oportunidades de mejora en los subprocesos a través del análisis de valor agregado.

El proyecto “Instalación de válvula de 300 GPM en el Grifo Baja Ley” es un programa piloto recientemente implementado, que consiste en el reemplazo de la válvula antigua de 90 GPM por una moderna de 300 GPM, el objetivo principal es reducir el tiempo del subproceso abastecimiento de combustible hasta en un 65%.

ABSTRACT

In this sufficiency work, four projects implemented in Compañía Minera Antamina S.A. are detailed and focused on improving the fueling process using the Six Sigma methodology. The main objective is to reduce operational delays related to fuel supply, thus increasing the use of haulage trucks, which translates into higher tonnage moved per year, making the company more productive and profitable.

The project "Standardization of information in real-time with the Dispatch system" consists of the implementation of a program that, through a series of automatic instructions, transfers information from Repsol's database to Dispatch in real-time and a reliable manner.

The project "Increase of supply from 750 gallons to 950 gallons in Komatsu trucks" focuses on increasing and standardizing the number of gallons supplied per truck, thus reducing the variability of the process and the times that a truck fuels per day/week.

The project "Improvement of the fueling process" is based on the review and analysis of the current procedure to identify opportunities for improvement in the sub-processes through the analysis of added value.

The project "Installation of a 300 GPM valve in the Baja Ley" is a recently implemented pilot program, which consists of replacing the old 90 GPM valve with a modern 300 GPM one, the main objective is to reduce the thread time fueling up to 65%.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I.....	12
GENERALIDADES	12
1.1 Antecedentes.....	12
1.2 Planteamiento del problema	14
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 Hipótesis	15
1.4.2 Hipótesis general	15
1.4.3 Hipótesis específicas	15
1.5 Justificación	15
CAPÍTULO II.....	17
FUNDAMENTO TEÓRICO	17
2.1 Historia de la metodología Six Sigma.....	17
2.2 Definición de Six Sigma	20
2.3 Fases de la metodología Six Sigma	22
2.3.1 Fases de identificación y definición de proyectos.....	22
2.3.2 Fases de medición y análisis.....	22
2.3.3 Fases de mejora y control.....	23
2.4 Definición de excelencia operacional.....	24
2.5 Excelencia operacional en Antamina.....	25
2.5.1 Aprendizaje continuo	25
2.5.2 Excelente desempeño e innovación.....	25
2.6 Compromisos de compañía minera Antamina.....	25

2.7	Mapeo de procesos	26
2.8	Gestión del tiempo	26
2.9	KPIs corporativos Antamina	26
2.9.1	Indicadores de producción	27
2.9.2	Indicadores de equipos	27
2.10	Proceso de abastecimiento de combustible	28
CAPÍTULO III		29
CONTEXTO DE LA EMPRESA		29
3.1	Antecedentes	29
3.1.1	Historia	29
3.1.2	Misión, visión y valores	30
3.1.3	Organigrama de la empresa	31
3.2	Descripciones generales y operacionales	32
3.2.1	Reseña histórica	32
3.2.2	Ubicación geográfica y accesibilidad	33
3.2.3	Topografía, clima, flora, fauna e hidrografía	35
3.2.4	Geología, litología y mineralogía	36
3.2.5	Clasificación del mineral	37
3.2.6	Clasificación del desmonte	39
3.2.7	Características geotécnicas	40
3.2.8	Método de explotación y diseño de tajo	41
3.2.9	Ritmo de producción	42
3.2.10	Equipos de mina	42
CAPÍTULO IV		43
METODOLOGÍA		43
4.1	Matriz de consistencia	43
4.2	Tipo y diseño de la investigación	43
4.3	Unidad de análisis	44
4.4	Población de estudio	44
4.5	Tamaño de la muestra	44
4.6	Selección de muestra	44
4.7	Análisis e interpretación de la información	44
CAPITULO V		45
RESULTADOS		45
5.1	Estandarización de la información en tiempo real con Dispatch	45

5.1.1	Mejoras y controles	48
5.1.2	Resultados	48
5.2	Incremento de abastecimiento de 750 galones a 950 galones.....	50
5.2.1	Abastecimiento y sensores de combustible	51
5.2.2	Tiempo entre abastecimiento de combustible.....	53
5.2.3	Auto asignación a grifo	54
5.2.4	Mejoras y controles.....	55
5.2.5	Resultados	56
5.3	Mejora del proceso de abastecimiento de combustible	57
5.3.1	Procedimiento de abastecimiento de combustible.....	57
5.3.2	Análisis de valor agregado.....	58
5.3.3	Mejoras y controles.....	59
5.3.4	Resultados	60
5.4	Instalación de Sistema VR-300 en Grifo Baja Ley	61
5.4.1	Mejoras y controles.....	62
5.4.2	Resultados	62
5.5	Resultados generales	63
5.6	Resultados estadísticos de las muestras	64
5.6.1	Estadística descriptiva de las muestras	65
5.6.2	Prueba de hipótesis	67
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES.....	71
	BIBLIOGRAFIA	72
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de la metodología Six Sigma (Fuente Bahena y Reyes, 2006).	21
Figura 2. Herramientas utilizadas en la metodología Six Sigma (Fuente Reyes, 2005).....	24
Figura 3. Modelo de tiempo BHP (Fuente Compañía Minera Antamina)	26
Figura 4. Ubicación geográfica de Antamina (Fuente Dpto. de Geología, Antamina).	34
Figura 5. Red Vial Nacional (Fuente MTC).	35
Figura 6. Pit Stop (Fuente Formula 1).....	46
Figura 7. Instalación de PC's en grifos (Fuente Operaciones mina, Antamina).	47
Figura 8. Mapa de proceso de transferencia de información (Fuente Administración flota mina, Antamina).....	47
Figura 9. Utilidad de monitoreo de Grifos (Fuente Administración flota mina, Antamina).	48
Figura 10. Módulo de combustible (Fuente Administración flota mina, Antamina).....	49
Figura 11. Evolución del tiempo de llenado de combustible (Fuente Administración flota mina, Antamina).....	49
Figura 12. Capacidad de abastecimiento de combustible (Fuente Komatsu Mitsui).	50
Figura 13. Histograma de galones abastecidos en los meses de enero a noviembre del 2018 (Fuente Elaboración propia).....	52
Figura 14. Galones abastecidos por camión en los meses de enero a noviembre del 2018 (Fuente Elaboración propia).....	52
Figura 15. Galones abastecidos por tipo de sensor en camiones Komatsu (Fuente Elaboración propia).....	53
Figura 16. Histograma de tiempo entre abastecimiento (Fuente Elaboración propia).....	54
Figura 17. Asignaciones de combustible por tipo (Fuente Administración flota mina, Antamina).....	55
Figura 18. Histograma de cantidad de combustible en el tanque (Fuente Elaboración propia).	56
Figura 19. Cantidad de eventos de llenado de combustible 2018 (Fuente Elaboración propia).	57
Figura 20. Flujograma del proceso de abastecimiento de combustible (Fuente Elaboración propia).....	59
Figura 21. Flujograma propuesto de abastecimiento de combustible (Fuente Elaboración propia).....	60
Figura 22. Mejora del tiempo de abastecimiento de combustible (Fuente Administración flota mina, Antamina).	61
Figura 23. Distribución de eventos de abastecimiento por grifo (Fuente Administración de flota mina, Antamina)	62
Figura 24. Evolución del tiempo de abastecimiento grifo Baja Ley (Fuente Administración flota mina, Antamina).	63
Figura 25. Histograma del tiempo de abastecimiento en los 3 grifos (Fuente Administración flota mina, Antamina).	64
Figura 26. Histograma del tiempo de abastecimiento de la muestra pre-test 2018 (Fuente Elaboración propia).	66
Figura 27. Histograma del tiempo de abastecimiento de la muestra post-test 2021 (Fuente Elaboración propia).	66
Figura 28. Flujómetro digital (Fuente Repsol).	74
Figura 29. Electroválvula (Fuente Repsol).	75
Figura 30. Equipo de radio frecuencia (Fuente Repsol).....	75
Figura 31. Tablero EasyFuel (Fuente Repsol).	76
Figura 32. Histograma de Grifo 4448 (Fuente Elaboración propia).....	78
Figura 33. Histograma de Grifo Chancadora (Fuente Elaboración propia).	79
Figura 34. Histograma de Grifo Baja Ley (Fuente Elaboración propia).....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de eventos por abastecimiento de combustible (2018).....	56
Tabla 2 Tiempo de abastecimiento y número de eventos por grifo (2017).....	61
Tabla 3. Medidas de tendencia central y dispersión de las muestras.	65
Tabla 4. Resultados de la prueba de normalidad.....	67
Tabla 5: Prueba de muestras emparejadas (SPCC).	68

INTRODUCCIÓN

La tendencia sostenida a la baja de los precios del cobre a lo largo de los últimos años, la desaceleración de la productividad total de factores, la caída en las leyes y el envejecimiento de los yacimientos ha conllevado a la industria minera a tomar un conjunto de medidas orientadas a la optimización de los procesos productivos, lo que ha permitido que las empresas del sector minero se mantengan rentables y con una sólida posición competitiva en el tiempo. Bajo este contexto, constantemente se ha estudiado la factibilidad de implementar nuevas herramientas de mejora de procesos y tecnologías de vanguardia, que permitan reducir los costos e incrementar la productividad.

Uno de los indicadores más importantes en el área de operaciones es la utilización de los equipos, el cual está directamente relacionado con la gestión de tiempos, por lo que una pequeña reducción en las demoras operativas incrementará la utilización de estos activos generando beneficios adicionales significativos.

La producción de una operación minera está directamente relacionada con la capacidad de transporte que esta tenga. Las grandes operaciones mineras están provistas de una vasta flota, por lo que pequeñas demoras pueden significar importantes pérdidas a nivel global, lo que hace sumamente relevante contar con procesos eficientes (Gonzales, 2016).

Compañía Minera Antamina actualmente ocupa el primer lugar en la producción de toneladas métricas finas de cobre en el Perú y además es una de las 10 empresas mineras de cobre más grandes del mundo por capacidad, presentando muchas oportunidades para incrementar su producción a través de la mejora de sus procesos. Dado que la Gerencia de Mina maneja aproximadamente el 80% de todo el presupuesto de la compañía, tiene la gran responsabilidad de buscar la mejora

continúa de los procesos que forman parte de su cadena productiva y permitan reducir los costos e incrementar la productividad.

Actualmente, en el mercado existen diversas metodologías enfocadas en la optimización de los procesos productivos, sin embargo, la metodología que ha tenido un mejor resultado en el manejo de proyectos mineros, debido a su versatilidad y estructuración, ha sido la metodología Six Sigma, esta metodología ha jugado un papel muy importante en otras industrias y recién desde el siglo XX se ha interiorizado como una forma de manejo de proyectos dentro de las compañías mineras, su aplicabilidad en la industria minera ha generado en las empresas mineras una mayor satisfacción al lograr la resolución de diversos problemas asociados a la productividad, generando un ahorro en los costos de operación y por tanto permitiendo alcanzar una mayor rentabilidad.

En este trabajo se muestra como a través de la aplicación de la metodología Six Sigma en el proceso de abastecimiento de combustible en conjunto con la aplicación de nuevas tecnologías, se logra reducir el tiempo implicado en la ejecución de este proceso, lo que significa un incremento en la utilización y en consecuencia en el material movido.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Durante los últimos años el desarrollo de nuevas metodologías de mejora de procesos y la aparición de nuevas tecnologías ha dado un impulso notable a la industria minera en la búsqueda de la optimización de los procesos que forman parte de su cadena productiva.

Bajo el contexto anterior, en diversas empresas mineras tanto nacionales como internacionales se han desarrollado proyectos enfocados en la optimización del proceso de abastecimiento de combustible, tema que abordaremos y profundizaremos en este trabajo.

Uno de los trabajos corresponde a Martínez (2014) con su investigación: “Mejora en el proceso de abastecimiento de combustible para camiones mineros”, llevado a cabo en la Compañía Minera Antapaccay. Este trabajo con enfoque cuantitativo identifica los subprocesos que pueden ser mejorados mediante el análisis de los datos, para

ello propone realizar capacitaciones a los operadores y aplicar nuevas tecnologías, con el objetivo de reducir y optimizar el tiempo de abastecimiento de combustible.

Asimismo, González (2016) a través de su tesis “Optimización de las horas operativas de los caex en los procesos de descarga en chancado y abastecimiento de combustible, mediante la utilización de modelamientos compuestos y redes neuronales”, presenta como la implementación de redes neuronales, para la predicción de condiciones, en conjunto con modelos de optimización pueden significar aumentos en el movimiento de material y producción de mineral. Además, reducir los tiempos muertos a los que se ven afectados los camiones de extracción en los procesos de chancado y abastecimiento de combustible.

El proyecto de mejora del tiempo de abastecimiento de combustible implementando la metodología Six Sigma que se detalla en el presente trabajo, se llevó a cabo en la unidad económica Yanacancha, que pertenece a la empresa minera Antamina S.A., ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash, a una altura media de 4500 msnm.

Actualmente, para el proceso de abastecimiento de combustible de camiones mineros, la empresa cuenta con 3 grifos fijos (Grifo 4448, Grifo Chancadora y Grifo Baja Ley) ubicados estratégicamente dentro del área de influencia de la operación, que suministran combustible a una flota total de 118 camiones. Como línea base, el tiempo medio de abastecimiento de combustible actualmente es de 22 min, con la implementación del proyecto se estima disminuir el tiempo a 15 min en promedio por cada evento de recarga de acuerdo con el plan estratégico. Esta reducción representará 5,475 horas anuales adicionales de utilización de la flota de camiones. Asimismo, es importante mencionar que dentro de las mejoras del proceso se ha implementado un programa piloto en el Grifo Baja Ley, que consiste en el reemplazo de las válvulas reguladoras de caudal antiguas de 90 GPM por un nuevo sistema VR-

300 (sistema de llenado no presurizado) que tiene una capacidad de flujo de hasta 300 GPM. La importancia del incremento del caudal de despacho radica en que se disminuye el tiempo de llenado del tanque de combustible, por lo que los camiones permanecen un menor tiempo en los grifos incrementando sus horas operativas.

1.2 Planteamiento del problema

El abastecimiento de combustible es una detención de proceso programado, es decir, una actividad obligatoria que realizan los equipos de acarreo, que consiste en la detención del equipo (con presencia del operador) en uno de los tres grifos por un determinado tiempo, el poco control oportuno del proceso ocasiona que se pierdan valiosos minutos en cada evento de recarga, que se traduce en importantes pérdidas en la utilización de los equipos y por tanto en el tonelaje transportado.

Para resolver esta problemática de acuerdo con la metodología Six Sigma, es necesario identificar oportunidades de mejora en el proceso de abastecimiento de combustible, previo análisis de la información, haciendo énfasis en los subprocesos que no generan valor, que presentan una alta variabilidad y donde la aplicación de nuevas tecnologías puede cumplir un rol importante.

Actualmente Antamina cuenta con un procedimiento que consta de un conjunto de actividades, ejecutadas de forma secuencial, que se detallan a continuación: Llegada al grifo, apagado del motor, bajada del operador del camión, bloqueo Repsol, abastecimiento de combustible, verificación del estado de llantas y sistema de lubricación, desbloqueo, subida del operador al camión y salida del grifo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Reducir el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros KOM930E4 de 22 min a 15 min, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma.

1.3.2 Objetivos específicos

- Controlar la variabilidad de las detenciones por abastecimiento de combustible a fin de mejorar la eficiencia del proceso.
- Identificar las actividades relacionadas al proceso de abastecimiento de combustible que no generen valor agregado.
- Implementar nuevas tecnologías aplicables a la mejora del proceso de abastecimiento de combustible.

1.4 Hipótesis

1.4.2 Hipótesis general

Mediante la aplicación de la metodología Six Sigma, el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros se reduce, aumentando de esta forma las horas operativas, lo cual trae como consecuencia la optimización de la operación, el incremento de la producción y la reducción de costos.

1.4.3 Hipótesis específicas

- La metodología Six Sigma nos permite identificar los subprocesos con mayor variabilidad, que pueden ser mejorados a fin de mantener la estabilidad del proceso y la reducción de la variabilidad.
- En el proceso de abastecimiento de combustible existen actividades innecesarias que no generan valor, la identificación de estas actividades mejora la eficiencia y productividad del proceso.
- La aplicación de tecnologías de vanguardia permite la optimización del proceso de abastecimiento de combustible, permitiendo beneficios adicionales que mejoran la rentabilidad del negocio.

1.5 Justificación

De acuerdo con estudios realizados, Antamina tiene un porcentaje de tiempo Hang relativamente alto en comparación con el benchmarking regional, principalmente

debido a complejidad de la operación, es decir, la capacidad de acarreo es menor a la capacidad de carguío.

La producción de una mina está limitada por la capacidad de carguío, por lo tanto, un pequeño incremento en la utilización de los equipos de acarreo, es decir, reducción de las demoras operativas, generará beneficios adicionales sustanciales.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Historia de la metodología Six Sigma

Las empresas a finales de los ochenta parecen haber encontrado su nuevo credo: el de la calidad total. Las empresas que se limitaban a hacer el control a posteriori de su única calidad presentaron la quiebra una tras otra. Las empresas de hoy si quieren sobrevivir, deben trabajar para sus clientes más que para sí misma.

Philip Crosby popularizó el concepto de Cero Defecto como orientación para el control de calidad. Este enfoque establece la meta de resultados que carezcan de errores al 100 por ciento. Crosby sostiene que, si se establece un nivel “aceptable” de defectos, ello tiende a provocar que dicho nivel (o uno más alto) se conviertan en una profecía que se cumple; Si los empleados saben que está “bien” trabajar dentro de un nivel determinado de errores, llegarán a considerar que ese nivel es la

“norma”.

Es evidente que dicha “norma” está por debajo de lo óptimo. Crosby sostiene que a las personas se le establecían estándares de desempeño mucho más holgados en sus trabajos que lo que regían sus vidas personales. “Ellos esperaban hacer las cosas bien, cuando se trataba de sostener a un bebé, de pagar las facturas o de regresar temprano a la casa correcta. En cambio, en los negocios se les fijaban “niveles aceptables de calidad”, márgenes de variación y desviaciones.

La idea de un “porcentaje de error aceptable” (a veces denominado un “nivel de calidad aceptable”) es un curioso remanente de la era del “control” de calidad. En aquellos tiempos, se podían encontrar maneras de justificar estadísticamente las naturales fallas humanas, sosteniendo que nadie podía ser posiblemente perfecto. De modo que, si el 100% es inalcanzable, ¿por qué no conformarse con el 99%, e incluso con el 95%? Entonces, si alcanzáramos el 96,642%, podríamos dar una fiesta y celebrar el hecho de haber superado los objetivos.

La cuestión es que el 96,642% significa que, de 100.000 transacciones efectuadas por un servicio, 3.358 resultarían desfavorables. Como las fallas de uno entre mil paracaidistas. Los clientes insatisfechos, aquellos que habrían estado fuera del porcentaje de transacciones perfectas, no regresarían jamás.

En los años ochenta la TQM (Gestión de Calidad Total) fue muy popular, pero sufrió un proceso de desgaste y en muchas empresas de agonía; ante las circunstancias descritas, empresas mexicanas se han visto en la necesidad imperiosa de realizar un cambio total en su manera de gestionar las empresas, dando lugar ello a adoptar la metodología de Seis Sigma en función de tres características:

1. Seis Sigma está enfocado en el cliente.
2. Los proyectos Seis Sigma producen grandes retornos sobre la inversión. En un artículo de la Harvard Business Review, Sasser y Reichheld señalan que

las compañías pueden ampliar sus ganancias en casi un 100% si retienen sólo un 5% más de sus clientes gracias al logro un alto grado de calidad.

3. Seis Sigma cambia el modo que opera la dirección. Seis Sigma es mucho más que proyectos de mejora. La dirección y los supervisores aprenden nuevos enfoques en la forma de resolver problemas y adoptar decisiones.

La historia de Seis Sigma se inicia en Motorola cuando un ingeniero (Mikel Harry) comienza a influenciar a la organización para que se estudie la variación en los procesos (enfocado en los conceptos de Deming), como una manera de mejorar los mismos. Estas variaciones son lo que estadísticamente se conoce como desviación estándar (alrededor de la media), la cual se representa por la letra griega sigma (σ). Esta iniciativa se convirtió en el punto focal del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, capturando la atención del entonces CEO de Motorola: Bob Galvin. Con el apoyo de Galvin, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua, estableciendo como meta obtener 3,4 defectos (por millón de oportunidades) en los procesos; algo casi cercano a la perfección.

Esta iniciativa llegó a oídos de Lawrence Bossidy, quién en 1991 y luego de una exitosa carrera en General Electric, toma las riendas de Allied Signal para transformarla de una empresa con problemas en una máquina exitosa. Durante la implantación de Seis Sigma en los años 90 (con el empuje de Bossidy), Allied Signal multiplicó sus ventas y sus ganancias de manera dramática. Este ejemplo fue seguido por Texas Instruments, logrando el mismo éxito. Durante el verano de 1995 el CEO de GE, Jack Welch, se entera del éxito de esta nueva estrategia de boca del mismo Lawrence Bossidy, dando lugar a la mayor transformación iniciada en esta enorme organización.

El empuje y respaldo de Jack Welch transformaron a GE en una "organización Seis Sigma", con resultados impactantes en todas sus divisiones. Por ejemplo: GE

Medical Systems recientemente introdujo al mercado un nuevo scanner para diagnóstico (con un valor de 1,25 millones de dólares) desarrollado enteramente bajo los principios de Seis Sigma y con un tiempo de escaneo de sólo 17 segundos (lo normal eran 180 segundos).

En otra de las divisiones: GE Plastics, se mejoró dramáticamente uno de los procesos para incrementar la producción en casi 500 mil toneladas, logrando no sólo un beneficio mayor, sino obteniendo también el contrato para la fabricación de las cubiertas de la nueva computadora iMac de Apple.

2.2 Definición de Six Sigma

Seis Sigma es una forma más inteligente de dirigir un negocio o un departamento. Seis Sigma pone primero al cliente y usa hechos y datos para impulsar mejores resultados. Los esfuerzos de Seis Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Reducir el tiempo del ciclo.
- Reducir los defectos.

Las mejoras en estas áreas representan importantes ahorros de costes, oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa de excelencia.

Podemos definir Seis Sigma como:

1. Una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.
2. Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora del desempeño.
3. Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

La letra griega minúscula sigma (σ) se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto

de datos, es decir, obtener sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades o actividades.

La metodología Seis Sigma, engloba técnicas de Control Estadístico de Procesos, Despliegue de la función de calidad (QFD), Ingeniería de calidad de Taguchi, Benchmarking, entre otras; siendo una sólida alternativa para mejorar los procesos y, por lo tanto, lograr la satisfacción de los clientes.

La estrategia Seis Sigma incluye el uso de herramientas estadísticas dentro de una metodología estructurada incrementando el conocimiento necesario para lograr de una mejor manera, más rápido y al más bajo costo, productos y servicios que la competencia.

Se caracteriza por la continua y disciplinada aplicación de una estrategia maestra "proyecto por proyecto" tal como lo recomienda Joseph Juran en su trilogía de la calidad, donde los proyectos son seleccionados mediante estrategias clave de negocios, lo cual conduce a recuperar la inversión realizada y obtener mayores márgenes de utilidad. La gente que coordina los proyectos de Seis Sigma son comúnmente llamados: BlackBelts, Green Belts, etc.

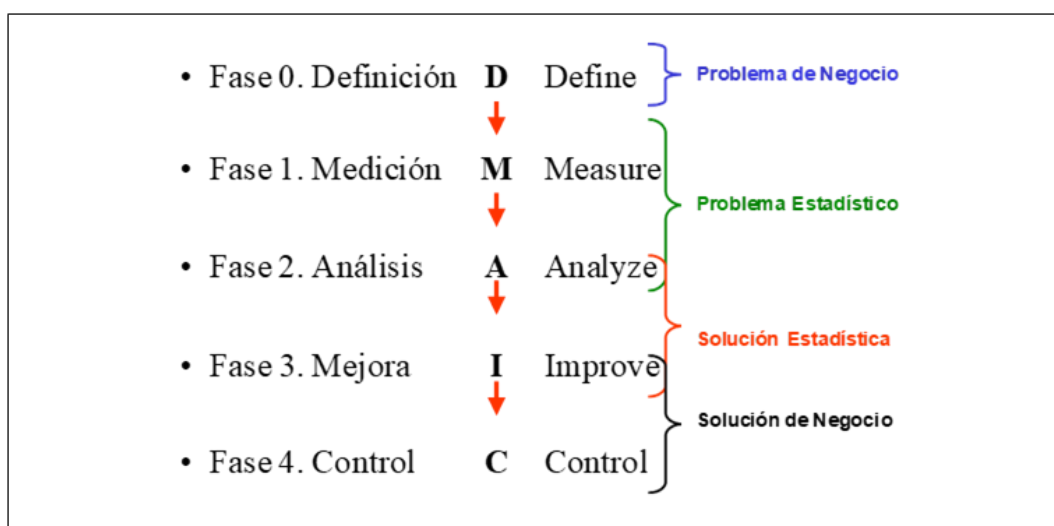


Figura 1. Fases de la metodología Six Sigma

(Fuente Bahena y Reyes, 2006)

2.3 Fases de la metodología Six Sigma

2.3.1 Fases de identificación y definición de proyectos

- Reconocer como afectan los procesos los resultados organizacionales.
- Reconocer como afectan los procesos a la rentabilidad.
- Definir cuáles son las características críticas del proceso de negocio.

2.3.2 Fases de medición y análisis

- Se selecciona una o más de las características clave y se crea una descripción detallada de cada paso del proceso.
- Se evalúa el proceso a través de mediciones y sirve de referencia para establecer los objetivos de la empresa.
- Se crea un plan de acción después de analizar la situación actual para lograr los objetivos establecidos
- Identificación y comparación competitiva (benchmarking) de las características clave del producto. Análisis de brechas y factores de éxito.

a. Medición

- Seleccionar las características clave del producto a mejorar
- Crear el diagrama sistemático de variabilidad del producto
- Definir las variables de desempeño
- Crear mapa de procesos
- Medir las Variables de desempeño
- Determinar la capacidad de desempeño y del proceso en término de niveles de sigma.

b. Análisis

- Seleccionar las variables de desempeño

- Hacer un benchmarking de las métricas de desempeño
- Descubrir el desempeño mejor en su clase
- Realizar un análisis de brechas
- Identificar factores de éxito
- Definir objetivos de desempeño

2.3.3 Fases de mejora y control

- Identificar qué pasos seguir para mejorar el proceso y reducir las fuentes de mayor variación que influyen negativamente en el proceso.
- Se identifican las variables clave o “pocas vitales” que impactan al proceso, a través del DOE y se ajustan para optimizar el proceso.
- Puede ser necesario modificar el proceso, cambiar los materiales, etc.

a. Mejora

- Seleccionar variables de desempeño.
- Diagnosticar desempeño de las variables.
- Definir variables causales (DOE)
- Confirmar variables causales.
- Establecer límites de operación.
- Verificar mejoramiento del desempeño.

b. Control

- Seleccionar variables causales;
- Definir el sistema de control estadístico;
- Validar el sistema de control;
- Implantar el sistema de control;
- Auditar el sistema de control;
- Monitorear las métricas de desempeño

A continuación, se esquematiza el propósito, los entregables, los métodos y las herramientas estadísticas utilizadas en cada una de las fases.

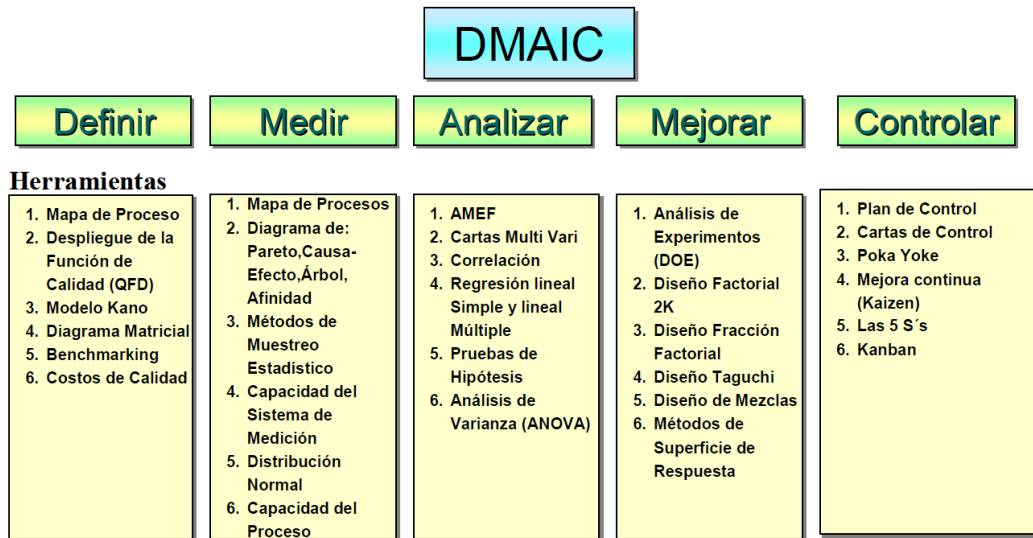


Figura 2. Herramientas utilizadas en la metodología Six Sigma

(Fuente: Reyes, 2005).

Para aplicar la filosofía Six Sigma dentro de una organización implica "Cambiar la cultura de la organización", ya que se fomenta el trabajo en equipo para la solución de problemas, se mejoran la comunicación, y aumenta el grado de confianza y seguridad en los individuos para realizar el trabajo, de esta manera se rompe la resistencia al cambio para poder ser más agresivos y alcanzar metas cada vez más desafiantes.

2.4 Definición de excelencia operacional

Dícese de algo superior en calidad o bondad que hace digno de singular aprecio y estimación. La Excelencia en la operación significa operar nuestros procesos en forma óptima y mejorando continuamente en tiempo, costo y calidad.

Excelencia operacional implica conocer muy bien las características de nuestro proceso, las formas de medirlo, de controlarlos y de mejorarlos en forma permanente, implica también reducir y eliminar desperdicios o pérdidas de todo tipo.

Es un modo de vida organizacional deseado para Antamina, una actitud común de la gente, en la búsqueda de nuestros logros extraordinarios mediante la mejora continua de nuestros procesos de producción, de soporte, de suministro y financieros.

2.5 Excelencia operacional en Antamina

La excelencia en la operación de Compañía Minera Antamina está presente en nuestras acciones rutinarias. La mejora continua de procesos es un objetivo permanente en nuestras labores del negocio.

La carta constitutiva de la compañía incluye también valores y compromisos relacionados con la Excelencia Operacional:

2.5.1 Aprendizaje continuo

Se promueve una cultura de aprendizaje y mejoramiento continuo, generando valor y posibilidades para nuestro equipo, clientes e industria, optimizando los procesos y el uso de la tecnología.

2.5.2 Excelente desempeño e innovación

Se promueve la excelencia en todo lo que hacemos, creando un ambiente donde surjan ideas y métodos innovadores para mejorar nuestros procesos.

2.6 Compromisos de compañía minera Antamina

Es compromiso de la compañía, establecer y utilizar los mejores estándares, prácticas y procesos que aseguran la excelencia de nuestra organización.

Al igual que la Seguridad Industrial, el éxito de la Excelencia Operacional dependerá en gran medida de la conciencia y actitud de cada uno de los trabajadores.

Para encaminar a Antamina hacia la Excelencia Operacional, se quiere enfocar en una administración efectiva y eficiente de los procesos; se busca mejorar utilizando la metodología Six Sigma.

La Excelencia Operacional es una característica de la organización y existe también un equipo de personas que facilitan la mejora de los procesos, y ellos pertenecen a la Gerencia de Excelencia Operacional.

2.7 Mapeo de procesos

Es el seguimiento detallado de las actividades que impactan en los procesos productivos de la empresa.

2.8 Gestión del tiempo

Uno de los puntos claves en una operación minera es conocer cómo se gestionan los equipos en el tiempo, para lo cual es fundamental utilizar un sistema de gestión del tiempo.

El marco de referencia de la gestión del tiempo depende de la perspectiva de cada compañía. En Antamina se utiliza el modelo de tiempos BHP, representada de la siguiente manera:



Figura 3. Modelo de tiempo BHP

(Fuente: Compañía Minera Antamina).

De los tipos de tiempos considerados por Antamina, para el área de operaciones mina, los más importantes son el tiempo de producción y las detenciones de proceso, que pueden ser programadas (refrigerio, cambio de turno, abastecimiento de combustible, etc) y no programadas (somnolencia, sin energía, grifo ocupado, etc).

2.9 KPIs corporativos Antamina

Son indicadores claves de desempeño que nos sirven para ver los resultados corporativos de Compañía Minera Antamina S.A.

2.9.1 Indicadores de producción

a) Mineral movido de mina total

Este indicador mide el tonelaje total del mineral movido de la mina hacia la chancadora primaria y a los stocks piles de mineral.

b) Desmote total

Este indicador mide el tonelaje total de material de desmote que hemos sacado del tajo hacia los botaderos.

c) Producción mina total

Este indicador mide la suma total de mineral y desmote que se ha retirado del tajo hacia la chancadora primaria y stock piles en el caso de mineral y hacia los botaderos en el caso del desmote.

d) Material movido total

El material movido total contempla a todo el mineral y desmote movido del tajo, así como el remanejo de material.

e) Alimentación a chancadora primaria

Mide el tonelaje total de mineral alimentado a la chancadora primaria desde la mina, así como de los stockpiles de mineral.

f) Stripping Ratio (desmote/mineral)

Viene a ser la relación entre el tonelaje total de desmote y el tonelaje total de mineral, que se ha extraído del tajo.

2.9.2 Indicadores de equipos

a) Utilización

La utilización viene a ser el porcentaje del tiempo del equipo utilizado referente al tiempo que está disponible, es decir está operativo para trabajar en las operaciones de mina.

b) Disponibilidad mecánica

Es el porcentaje del tiempo requerido en el cual el equipo está disponible para ser operado, es decir, está en condiciones de ser usado.

c) Productividad

Es un indicador que permite medir los rendimientos de los equipos principales de la operación. Expresa la cantidad de tonelaje total cargado (equipos de carguío) o movido (equipos de acarreo) por hora.

2.10 Proceso de abastecimiento de combustible

El proceso de abastecimiento de combustible consiste en el llenado del tanque a fin de que los camiones de acarreo continúen realizando sus actividades productivas de manera continua.

Esta es una detención de proceso programada de carácter obligatorio. El proceso de abastecimiento varía entre operaciones, existiendo diferentes protocolos con distintos niveles de exigencia desde el punto de vista de seguridad.

CAPÍTULO III

CONTEXTO DE LA EMPRESA

3.1 Antecedentes

3.1.1 Historia

La palabra quechua «anta» significa cobre y da origen a “Antamina”, o mina de cobre. Desde los tiempos de la Cultura Chavín, los hombres del antiguo Perú ya conocían las propiedades de este mineral y lo utilizaban con fines religiosos. Los trabajos en metales eran utilizados para comunicar sus creencias, pues los motivos eran complejos símbolos religiosos.

En 1860, el sabio italiano Antonio Raimondi, documentó las propiedades del yacimiento de Antamina en su emblemática obra El Perú, que se publicaría en seis tomos entre 1874 y 1913. El yacimiento quedó en el olvido durante décadas y no es hasta 1952 cuando Antamina se integró a la cartera de exploración de proyectos mineros de la Cerro de Pasco Mining Company.

En la década de los años setenta, Antamina pasó a manos del Estado y así se mantuvo hasta 1996. En ese año, luego de un proceso de privatización el yacimiento fue adquirido por las mineras canadienses Rio Algom e Inmet.

Estas empresas iniciaron la formación de lo que hoy somos: Compañía Minera Antamina S.A. Así, después de un proceso de exploración y de construcción del complejo minero, iniciamos nuestras operaciones de prueba el 28 de mayo del 2001. El 1 de octubre del 2002, comenzamos a producir comercialmente concentrados de cobre y zinc, y otros subproductos.

3.1.2 Misión, visión y valores

3.1.2.1 Misión

Logramos resultados extraordinarios y predecibles en salud y seguridad, medio ambiente, relaciones comunitarias, calidad, y eficiencia, con el compromiso, participación y liderazgo de nuestra gente.

3.1.2.2 Visión

Ejemplo peruano de excelencia minera en el mundo. Extraordinarios líderes transformando retos en éxitos. ¡Trabajando por el desarrollo del mañana...ahora!

3.1.2.3 Valores

a) Salud y seguridad industrial. Asumimos la salud y la seguridad industrial en todas nuestras acciones y decisiones, protegiendo proactivamente a las personas y a la propiedad.

b) Integridad. Somos nuestra palabra, honramos nuestros compromisos y cumplimos con las leyes y las políticas corporativas.

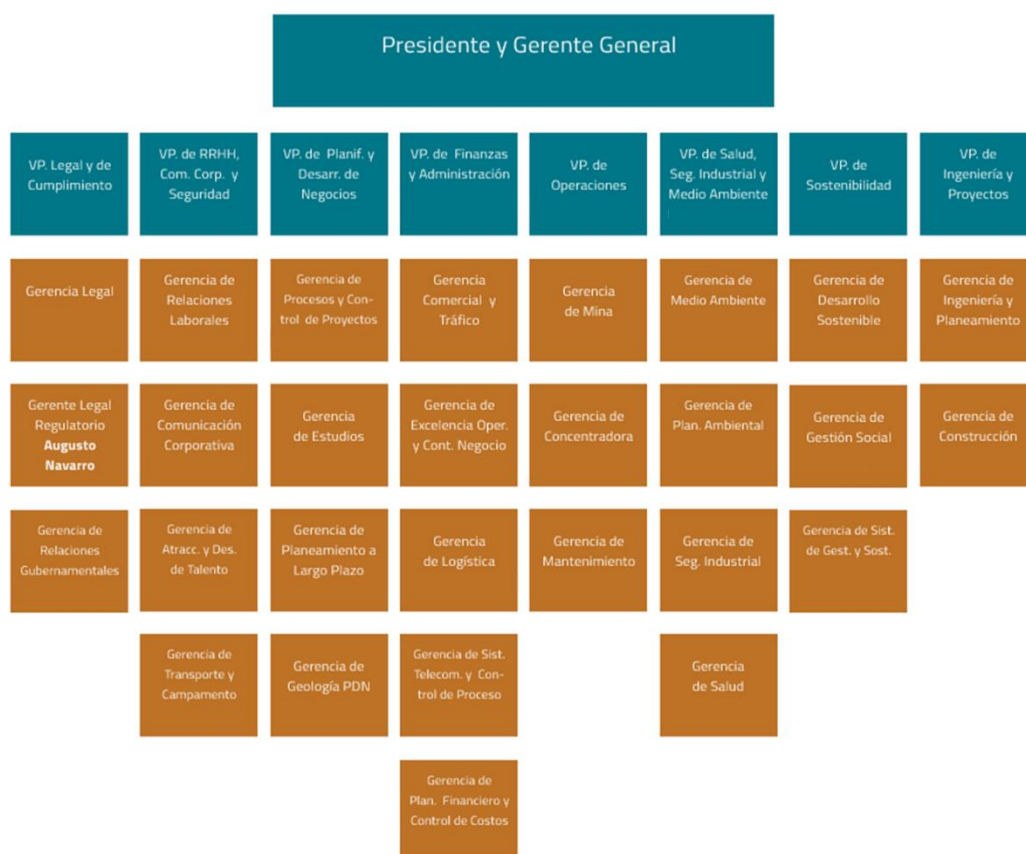
c) Responsabilidad. Somos responsables de nuestros actos y sus consecuencias y de la administración eficiente de los recursos, operando con responsabilidad social y ambiental, promoviendo el desarrollo sostenible.

d) Respeto y reconocimiento. Reconocemos los logros de cada uno, respetando las tradiciones y promovemos una cultura donde las ideas y contribuciones se valoran.

e) Aprendizaje continuo. Promovemos una cultura de aprendizaje y mejora continua para nuestro equipo, socios estratégicos, clientes e industria, optimizando los procesos y el uso de la tecnología.

f) Excelente desempeño e innovación. Creamos un ambiente apropiado donde surgen ideas y métodos innovadores para mejorar nuestros procesos.

3.1.3 Organigrama de la empresa



(Fuente: Compañía Minera Antamina).

3.2 Descripciones generales y operacionales

3.2.1 Reseña histórica

Compañía Minera Antamina S.A. es una empresa que constituye la mayor inversión de la historia minera peruana (US \$ 2,300 millones).

La empresa Cerro de Pasco Corporation obtuvo los derechos sobre diversas concesiones mineras en Antamina en 1952. El lugar fue explorado esporádicamente en las décadas de los cincuenta y sesenta. Durante este período, se desarrollaron más de 5000 metros de labores subterráneas y adicionalmente se hicieron más de 3000 metros en perforaciones, que fueron tanto subterráneas como en superficie.

Con el gobierno militar de los años 70, la propiedad de Antamina revertió al Estado y estuvo en manos de Minera Perú durante más de 15 años, y luego se procedió a su privatización en 1996.

Los inversionistas que ganaron la licitación formaron Compañía Minera Antamina S.A. Después de un proceso de dos años de exploraciones y tres años de construcción de su complejo minero, inició sus operaciones de prueba el 28 de mayo del 2001.

Antamina produce diferentes concentrados de mineral, fundamentalmente cobre y zinc mediante el método de flotación, además de molibdeno, plata y plomo, que son obtenidos de manera secundaria en el proceso de producción.

La complejidad del mineral extraído de la mina ha obligado diseñar y construir en Yanacancha una planta concentradora sumamente compleja. Con un valor cercano de 755 millones de dólares, esta planta tiene una capacidad de diseño de 180,000 Tm/día, capaz de procesar 150,000 toneladas diarias de hasta seis tipos de minerales diferentes.

En julio del 2001, Compañía Minera Antamina S.A. inauguró las instalaciones del puerto Punta Lobitos en Huarney, diseñado para exportar los concentrados de cobre y zinc provenientes de Antamina.

Los concentrados de cobre y zinc son trasladados mediante un mineroducto de 302 kilómetros desde el Área de Mina hacia el Área del Puerto (Huarney).

El puerto cuenta con una planta de filtros, un edificio de almacenamiento de concentrados con capacidad para albergar poco más de 160,000 toneladas de concentrados y un muelle de embarque de 271 metros de largo que soporta la faja transportadora hermética de concentrados, donde son filtrados, almacenados y luego embarcados a diferentes fundiciones del mundo.

Los concentrados de molibdeno y plomo – bismuto son filtrados y luego embolsados herméticamente para transportarlos en camiones desde la concentradora de la mina hacia el puerto del Callao para su comercialización.

Los accionistas de la Compañía Minera Antamina S.A. son BHP Billiton con 33,75%, Xstrata Limited con 33,75%, Teck Cominco Limited con 22.50% y Mitsubishi Corporation con 10,00%.

3.2.2 Ubicación geográfica y accesibilidad

Compañía Minera Antamina S.A. viene operando la mina Antamina desde el año 2001. Sus operaciones se ubican en el Departamento de Ancash y sus distintas instalaciones se ubican en las Provincias de Huari, Bolognesi y Huarney. Antamina ejecuta sus actividades en tres áreas principales: Mina, Mineroducto y Puerto.

El complejo minero Antamina está ubicada en el Departamento de Ancash, Provincia de Huari, en el Distrito de San Marcos y valle de la quebrada Yanacancha a una altura de 4300 m.s.n.m., en la parte alta de la cuenca del Río Puchca, tributario del Río Marañón. En el Área de Mina se ubica el tajo abierto, la planta concentradora, los botaderos de desmonte, el depósito de relaves, la presa de agua fresca, el

campamento y demás instalaciones auxiliares destinadas a apoyar las actividades de minado y procesamiento.

Las referencias de ubicación son: 200 kilómetros de la ciudad Huaraz, 270 kilómetros al norte de la ciudad de Lima y, las coordenadas UTM del centro del tajo son aproximadamente 274000 Este y 8945000 Norte.



Figura 4. Ubicación geográfica de Antamina

(Fuente: Dpto. de Geología, Antamina).

El acceso a la mina es a través de una red de carreteras que pertenecen a la Red Vial Nacional. La mina se conecta inicialmente mediante una vía regional (Huanzálá-Antamina) con la vía nacional PE-3N (Longitudinal de la Sierra Norte), el cual a la altura de la laguna Conococha empalma con la vía P-14 (Carretera Casma-Huaraz) para finalmente unirse a la vía PE-1N (Carretera Panamericana Norte), esta red de vías con destino a la ciudad de Lima tiene unos 450 Km de distancia con un tiempo de viaje aproximado de 8.5 horas.

Huaraz es la ciudad más importante cercana a la mina y se puede llegar por vuelo directo desde Lima en 50 min o por carretera asfaltada de 200 Km de distancia en 6 horas.



Figura 5 Red Vial Nacional
(Fuente: MTC).

3.2.3 Topografía, clima, flora, fauna e hidrografía

La altitud de la operación está entre los 4000 a 4700 msnm. El relieve es relativamente abrupto con zonas rocosas escarpadas (picos), dicha topografía complica la instalación de infraestructura complementaria a la operación (campamentos, talleres, presas, etc.). Hay valles glaciares cortos con lagos y

cañones y valles de ríos profundos y con pendientes. La cresta dominante y la tendencia de los valles es el noroeste, lo que refleja la estructura regional y tectónica. El clima de la zona es muy frío y seco, que corresponde a la región puna, llegando a temperaturas promedio de 5.4° a 5.7 °C; con temperaturas máximas entre 18°C a 22°C en la estación seca y mínimas entre 0.7 y -3.0°C en la estación lluviosa. La precipitación pluvial en la zona es marcadamente estacional con un promedio de 1.870 mm por año, ocurriendo con mayor intensidad entre los meses de diciembre a marzo con presencia de heladas, lluvias y granizadas.

La fauna de la zona está conformada por: Vizcachas, zorro andino, ratón campestre, lagartija, rana, sapo y aves (halcón, cóndor andino, águila de copete). Hay presencia de peces en las lagunas circundantes.

La vegetación se caracteriza por los pastizales extensos que incluyen comunidades de especies almohadilladas, helechos y arrosietadas, con áreas esparcidas de bofedales.

El principal elemento hidrográfico son las lagunas cercanas y el agua del subsuelo (manantiales), producido por la filtración de las aguas de la lluvia. El caudal de las aguas de la cuenca Ayash están entre 400 – 1,800 L/s, mientras los flujos de las aguas de la cuenca Yanacancha varían entre 1,494 y 1,521 L/s.

3.2.4 Geología, litología y mineralogía

El depósito mineral de Antamina es el Skarn de Cobre-Zinc, plata, molibdeno y bismuto, más grande del mundo. La mineralización de Antamina por encontrarse en un ambiente cordillerano se caracteriza por tener estructuras de tipo anticlinal.

La roca minada consiste en caliza, mármol, hornfels, intrusivos, skarn (endoskarn y exoskarn) material de cubierta. Alrededor del 25% del total de la roca minada es material diferente a calizas y mármol, este material tiene el potencial de lixiviar metales y es designado como material de clase A.

El depósito de Antamina es un depósito de skarn polimetálico, con mineralización de cobre, zinc, plata, molibdeno y bismuto. El yacimiento se formó durante el emplazamiento del material de Antamina y los intrusivos porfiríticos correspondientes en la caliza de Celendín.

El metamorfismo por contacto resultó en la formación del skarn mineralizado a lo largo de los márgenes de los intrusivos y la caliza. La mineralización del concentrado de ley ocurre alrededor del 90% en skarn y localmente en el intrusivo y la caliza.

Las principales especies mineralógicas que son explotadas en este yacimiento son: calcopirita, bornita, esfalerita, molibdenita, pero por la naturaleza del yacimiento tipo skarn, se cuenta además con menos de plomo como galena, y especies mineralógicas de bismuto asociadas; entre ellas: La aikinita, bismutinita y cosalita.

3.2.5 Clasificación del mineral

La clasificación del mineral está basada en la rentabilidad del mineral en la concentradora (\$/hora) teniendo en cuenta los precios a lo largo del plazo de los metales, costos operativos y tonelajes de tratamiento de concentradora. Los valores de ley de corte actuales para el mineral de alta ley son de 14 000 \$/hora y para el mineral de baja ley es 1 500 \$/hora.

Los valores de ley corte para el mineral pueden variar en el futuro dependiendo de varios factores, tales como parámetros económicos, estimaciones de la alteración del mineral acopiado y mejoras operacionales. Actualmente sólo se está enviando a la concentradora el mineral de alta ley, el mineral de baja ley está siendo almacenado en los stocks, para su procesamiento posterior. Los ocho tipos de mineral del depósito de Antamina se presentan a continuación:

1) Mineral M1

Mineralización compuesta de sulfuro de cobre y hierro (calcopirita con contenido de Cu > 0.5%), sulfuro de molibdeno (molibdenita) con bajo o sin el contenido de

bismuto (Bi < 25 ppm) y trazas de sulfuro de zinc (escalerita, contenido de Zn < 0.9%). La roca no mineralizada adjunta es principalmente pirita y cuarzo y en menor proporción magnetita, clorita y epidota.

2) Mineral M2

Mineralización similar a M1, con contenido Cu > 0.5%; contenido de Zn < 0.5%, pero con contenido de bismuto entre 25 y 200 ppm.

3) Mineral M2A

Mineralización similar a M2, con contenido de Cu > 0.5%; contenido de Zn < 0.5%, pero con contenido de bismuto > 200 ppm.

4) Mineral M3

La mineralización está compuesta de calcopirita y sulfuro de zinc (esfalerita), con contenido de Cu > 0.5%; contenido Zn > 0.9% y contenido de busmuto < 25 ppm. La roca no mineralizada adjunta es pirita y magnetita con bajo contenido de bismuto.

5) Mineral M4

La mineralización está compuesta principalmente de calcopirita y escalerita con lago de argentina, con contenido de Cu > 0.5%; contenido de Zn > 0.5% y contenido de bismuto entre 25 y 200 ppm. La roca no mineralizada adjunta es principalmente pirita, calcita y en menor cantidad, galena

6) Mineral M4A

Mineralización similar a M4, con contenido de Cu > 0.5%; contenido de Zn > 0.5% pero con alto contenido de bismuto > 200 ppm.

7) Mineral M5

La mineralización está compuesta de minerales de cobre, específicamente del sulfuro de cobre y hierro (Bornita), posiblemente también calcopirita. Sólo la bornita es procesada debido a su alto contenido de Cu. También haya presencia

de molibdenita con trazas de escalerita. Contenido de Cu > 0.5% y contenido de Zn < 0.5%.

8) Mineral M6

La mineralización es similar a M5, pero con escalerita en mayores cantidades, también posibilidad de argentita y virtualmente ninguna molibdenita, contenido de Cu > 0.5% y contenido de Zn > 0.5%.

3.2.6 Clasificación del desmonte

La reevaluación de los criterios de Zinc como el análisis estadístico realizado por Golder (2003) identificaron que el potencial para mejorar el sistema de clasificación de desmonte utilizando los criterios existentes era limitado; con pocas oportunidades para hacer la distinción entre los grupos de desmonte utilizando únicamente criterios visuales.

Los resultados de la prueba de lixiviación pueden ser aplicados a algunas litologías, pero no ofrecen una clasificación definitiva o una mejora respecto al protocolo actual de manejo de desmonte. Los resultados también sugirieron que existía una pequeña correlación entre la lixivabilidad del zinc y otros parámetros.

Por lo tanto, parecía que las características del material tomadas en forma aislada (es decir, sin ninguna conexión con la operación de la mina) no podrían utilizarse para perfeccionar y mejorar el sistema actual de clasificación de desmonte.

1) Material Tipo A

Rocas mineralizadas y/u oxidadas (Endoskarn, exoskarn, intrusivo, diópsido, hornfels, mármoles y calizas). Contenido de Zn > 1 500 ppm (0.15%) y As > 400 ppm (0.004%) Contenido de sulfuros > 3% y oxidos visuales > 10%

2) Material tipo B

Hornfels, mármoles y calizas. Contenido de Zn entre 700 ppm (0.07%) y 1 500 ppm (0.015%) Contenido de sulfuros > 3% y oxidos visuales < 10%

3) Material tipo C

Hornfels, mármoles y calizas. Contenido de Zn < 700 ppm (0.07%) y As < 400 ppm (0.004%) Contenido de sulfuros > 3% y oídos visuales < 10%

3.2.7 Características geotécnicas

De los análisis cinemáticas de inestabilidad, evidencian un claro predominio de inestabilidades estructurales del tipo cuñas, desplazamiento de bloques y fallas por vuelco, hechos observados en los actuales comportamientos del talud. Para un mejor control y análisis se han zonificado el tajo por dominios estructurales.

Para el control del desplazamiento y falla de los taludes del tajo. Antamina cuenta con estaciones robóticas instalados estratégicamente y puntos de monitoreo dentro del tajo, los cuales cada cierto tiempo se encargan de tomar lecturas de las coordenadas de cada punto y enviar la información al computador central que se encarga de registrar en su base de datos y evaluar las condiciones de estabilidad. Posteriormente el sistema procesa la información y reporta el vector desplazamiento de cada uno de los puntos de monitoreo.

En los botaderos y en los stocks de baja ley, se presentan fallas planares y circulares debido a la mineralogía del material, condiciones climáticas y secuencia de descargas. Por lo cual se han instalado extensómetros manuales y digitales para monitorear los desplazamientos y tomar las acciones correctivas. Además, como una estrategia para minimizar los efectos, en los botaderos se realiza corte y relleno del material para seguir con la secuencia de descarga.

En el Taco Pit, que viene hacer el nivel más bajo del tajo, hay presencia de aguas subterráneas. Para eliminar las condiciones inseguras se procede con el bombeo hacia el sur del tajo desde las barcazas que se encuentran en el Taco Pit; también se han instalado piezómetros en las paredes del tajo para monitorear el nivel de la capa freática y minimizar las inestabilidades que pueden ocasionar.

3.2.8 Método de explotación y diseño de tajo

El minado del yacimiento de Antamina se realiza mediante el método de explotación superficial a tajo abierto, el cual se ubica en la cabecera de la Quebrada Antamina, en donde anteriormente se ubicaba la Laguna Antamina. La relación de desmonte a mineral es 2.6.

El mineral es transportado a la chancadora primaria ubicada en la parte sur del tajo abierto, una vez chancada es llevada mediante faja transportadora al área de la concentradora. El desmonte se deposita en tres botaderos de desmonte: el Botadero Este, Botadero Sur y Botadero Tucush. Toda roca potencialmente reactiva de la operación se deposita en el Botadero Este. El Botadero Tucush es para depositar el material no reactivo, es decir material tipo B y C. En el Botadero Sur se deposita el mineral de baja ley en las Pilas de Baja Ley.

El plan de minado contempla que el tajo abierto será completado en doce fases. Cada una de ellas incluye trabajos de desarrollo y producción. La Fase 1, 2, 3, 4 y 5 ya ha sido completado, y en la actualidad Antamina está procesando mineral de las Fases 6 y 8; y la Fase 9 está en desarrollo y en el futuro la Fase 10 se realizará en la zona este del tajo, donde actualmente se encuentran las oficinas de Dispatch.

El diseño geométrico del tajo y principalmente las pendientes de los taludes han sido preparados y actualizados de forma continua por Piteau Associates desde 1997, en base a consideraciones geotécnicas, el tajo ha sido dividido en varios dominios estructurales, cada uno de los cuales incluye distintas unidades litológicas y estructurales, para las cuales se aplican distintos ángulos de talud, anchos de berma y alturas de banco.

La dimensión del tajo tiene como largo 3.2 Km, ancho 2.4 Km y una profundidad de 855 m y el nivel más bajo se encuentra a una altura de 3,398 m.s.n.m.

Dependiendo del dominio estructural y la unidad litológica, los ángulos de banco varían entre 56° y 70°, los anchos de berma entre 9 y 11 m y las alturas de banco entre 15 y 30 m, los caminos de acceso y las rampas del tajo tienen 38 m de ancho, con una superficie para tráfico en dos direcciones de 30 m en general, la inclinación de las rampas es 10%, pero en zonas de muy bajo tráfico, inclinaciones de hasta 15% son utilizadas.

3.2.9 Ritmo de producción

El nivel de minado actual contempla el minado de un promedio de 150,000 tpd de mineral para alimentar la planta concentradora y aproximadamente 600,000 tpd de desmonte. Y el material movido es aproximadamente 780,000 tpd de material desde el tajo abierto hacia la planta concentradora, stockpiles (ley alta y baja ley) y los botaderos de desmonte.

3.2.10 Equipos de mina

Para el proceso de perforación se cuenta con una flota de 10 perforadoras rotativas para taladros de producción y con 5 perforadoras DTH para taladros de precorte.

Para el proceso de carguío se cuenta con una flota de 7 palas eléctricas, 4 palas hidráulicas y 2 cargadores frontales. Las palas eléctricas de cable se utilizan para la producción de mina, mientras que las palas hidráulicas y los cargadores generalmente se utilizan para el carguío del material de los stockpiles.

Para el proceso de transporte y acarreo, se cuenta con una flota heterogénea de 118 camiones, la flota principal está compuesta por 92 camiones modelo KOM 930, además se cuenta con 18 camiones modelo CAT 793F (que se están reemplazando paulatinamente) y 2 camiones modelo KOM 980. Recientemente, se incorporaron 6 camiones del segmento *ultra class*, 2 camiones modelo LBH T-284 y 4 camiones modelo CAT 798.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Matriz de consistencia

Los detalles de la matriz de consistencia se encuentran en el **anexo A**.

4.2 Tipo y diseño de la investigación

El tipo de la investigación es cuantitativa. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) un enfoque cuantitativo de la investigación se refiere a un conjunto de procesos secuenciales y probatorios, en el cual el investigador es objetivo, haciendo un estudio organizado basado en la medición numérica y la estadística y que sigue un patrón predecible y estructurado, con el cual se puedan demostrar teorías y los fenómenos investigados a través de un razonamiento deductivo del cual se logren obtener hipótesis, las cuales serán sometidas a prueba para lograr el objetivo propuesto, bajo un nivel de investigación explicativo.

El diseño de la investigación es pre experimental. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el diseño pre experimental es un estudio en el cual se manipula una o más variables independientes, sobre lo cual se analiza las consecuencias que esta acción ejerce sobre las variables dependientes.

4.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis son los camiones mineros KOM 930E4, de donde se obtendrán las transacciones (datos).

4.4 Población de estudio

La población de estudio está conformada por el total de transacciones de abastecimiento de combustible generados en el año 2018 y 2021, es decir, en el año pre-test y post-test (posterior a la implementación total de la metodología Six Sigma).

4.5 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra ha sido determinado mediante la fórmula del tamaño de la muestra para poblaciones finitas. La muestra fue seleccionada aleatoriamente y está compuesta por las transacciones generadas en un año. El pre-test corresponde al año 2018 y el post-test al año 2021.

4.6 Selección de muestra

Los datos fueron obtenidos a través de consultas a la base de datos SQL del FMS (Fleet Management System), que posteriormente fueron transpuestos en un libro Excel. La muestra fue seleccionada al azar mediante la función de generación de números aleatorios.

4.7 Análisis e interpretación de la información

Se utilizó el paquete estadístico SPSS, para la realización del análisis estadístico y las pruebas de hipótesis.

CAPITULO V

RESULTADOS

A continuación, se presentan los cuatro proyectos implementados y los resultados parciales obtenidos, asimismo, los resultados de la prueba de hipótesis.

5.1 Estandarización de la información en tiempo real con Dispatch

La información del combustible, principal consumible en mina, no se tenía como un input permanente, confiable y directo hacia la gerencia y por tanto al no poderlo medir no se podía mejorar.

Dentro de las demoras operativas que impactan más en la utilización de los camiones está el abastecimiento de combustible, pero esta actividad carecía de dueño de proceso y por tanto no tenía control.



Figura 4. Pit Stop

(Fuente Formula 1).

Respecto a la información de la cantidad de combustible por camión, por flota, por grifo, etc, se puede mencionar lo siguiente:

- No se tenía información del consumo de combustible de forma instantánea y fiable.
- Existía un consumo desigual de combustible en camiones, basado en la percepción del operador y despachador.
- Como principal consumible no se tenía control del proceso.
- Operativamente no se sabía que camión consume mayor cantidad de combustible que otro en las mismas condiciones.

Por ello, se decidió lo siguiente:

- Se desarrolló un programa propio de mina, que a través de una secuencia de instrucciones gestiona la información directa de Repsol (EasyFuel) a Dispatch (los detalles del sistema EasyFuel se encuentran en el anexo B).

- Se instaló una PC pareja en cada grifo, con la finalidad de garantizar la invulnerabilidad de la información hacia Dispatch.
- La información se transmite vía Wireless desde cada grifo a los servidores Dispatch.



Figura 5. Instalación de PC's en grifos

(Fuente Operaciones mina, Antamina).

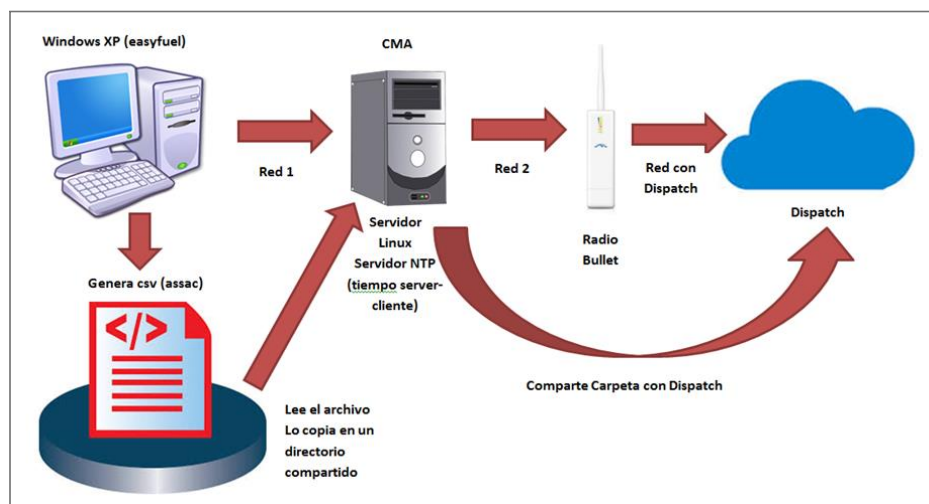


Figura 6. Mapa de proceso de transferencia de información

(Fuente Administración flota mina, Antamina).

5.1.1 Mejoras y controles

Se realizaron las siguientes mejoras:

- Se sincronizaron las computadoras de Repsol con la hora Dispatch, para garantizar confiabilidad de la información.
- Se desarrollaron FORM's en Dispatch para el control de la información.
- Al estar automatizada esta información no sufre ninguna variación (por factor humano).
- La información es la misma que reporta Repsol, la diferencia es el tiempo.
- Asignación de tiempos a los dueños de proceso.
- Los dueños del proceso mostraron mayor compromiso luego de mostrarles la medición de los tiempos de cada proceso para ser mejorados.

5.1.2 Resultados



Figura 7. Utilidad de monitoreo de Grifos
(Fuente Administración flota mina, Antamina).

KEYPAD						
Modulo Combustible Assac Para CMA						
Turno: 07-FEB-15 Dia						
Nro. Ticket	Equipo	Hora Inicial	Hora Final	Galns	Bahia	Estacion
1047	HT066	07:07:19	07:16:51	878.8	1	GAB4174
82668	HT153	07:07:35	07:23:15	976.3	2	4448
82669	HT084	07:10:11	07:27:50	1019.5	1	4448
82670	HT114	07:31:59	07:40:31	931.0	2	4448
82671	HT095	07:33:42	07:44:58	997.7	1	4448
36011	HT120	07:34:38	07:46:52	941.6	1	GABINETE
82672	HT119	07:56:34	08:03:21	815.8	1	4448
82673	HT088	08:07:24	08:17:03	1196.1	2	4448
82674	HT117	08:11:24	08:21:25	959.7	1	4448
36012	HT149	08:22:16	08:35:00	1054.4	1	GABINETE
82675	HT092	08:27:27	08:34:44	926.1	1	4448
36013	HT083	08:42:20	08:54:34	1011.2	1	GABINETE
82676	HT131	08:44:26	08:52:30	874.0	2	4448
82677	HT082	09:03:43	09:12:09	1060.0	1	4448
36014	HT103	09:05:14	09:17:18	940.6	1	GABINETE
82678	HT086	09:15:58	09:24:12	1010.6	2	4448
1048	HT157	09:17:25	09:28:27	1000.0	1	GAB4174
82679	HT097	09:24:16	09:32:52	1059.8	1	4448
36015	HT070	09:29:41	09:45:04	715.5	1	GABINETE

Figura 8. Módulo de combustible

(Fuente Administración flota mina, Antamina).

Como se aprecia en las figuras 9 y 10, se verifica la información de Repsol en tiempo real en el Dispatch.

El tiempo de abastecimiento en grifos (ver figura 11) disminuyó en enero del 2015, debido a la distribución de los tiempos de abastecimiento, entre Operaciones y Mantenimiento.

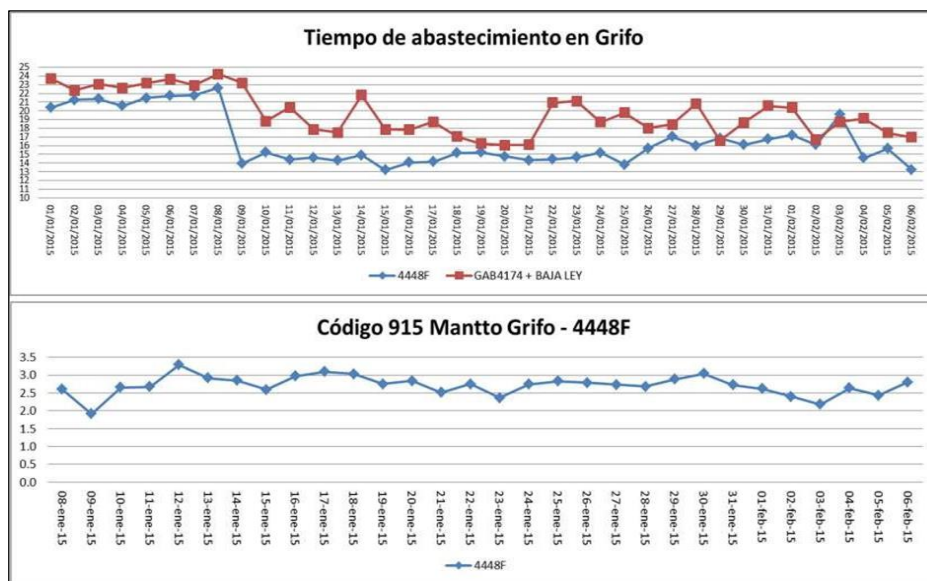


Figura 9. Evolución del tiempo de llenado de combustible

(Fuente Administración flota mina, Antamina).

5.2 Incremento de abastecimiento de 750 galones a 950 galones

El propósito del siguiente proyecto es realizar un análisis del abastecimiento de combustible de los camiones Komatsu debido a que abastecen solamente alrededor de 750 galones.

La capacidad de tanque de los camiones Komatsu es de 1421 galones (206.7 cm de altura); por datos técnicos y asesoramiento del proveedor se sabe que estos camiones técnicamente pueden trabajar hasta el 10% de capacidad mínima sin perjudicar la máquina y su rendimiento (ver figura 12).

El camión emite una señal sonora y luminosa cuando está al 10% con lo cual tiene una autonomía de 400 litros (105 galones) para poder ser enviado al grifo más cercano.

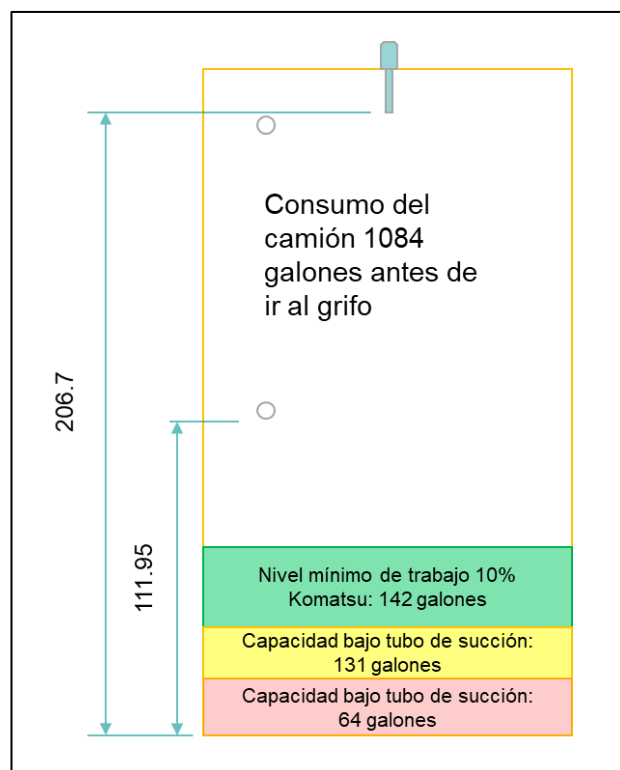


Figura 10. Capacidad de abastecimiento de combustible

(Fuente Komatsu Mitsui).

Si aumentamos los galones abastecidos, podremos reducir el número de abastecimientos totales al mes, lo cual implica una reducción significativa del tiempo de demoras y por tanto una mayor utilización de los camiones.

Los beneficios fundamentales de la propuesta se enfocan en los siguientes puntos:

- Eliminar la autoasignación, lo que significa que los camiones solo se dirigirán al grifo cuando la lógica del sistema lo indique o bajo autorización del despachador.
- Realizar pruebas que consisten en disminuir el % de combustible remanente a la cual el sistema envía los camiones al grifo más cercano, de forma selectiva, teniendo en cuenta el tipo de tanque.
- Establecer un nivel de alerta que indique cuando debe ser asignado el camión al grifo, esto sucede cuando se enciende físicamente la alarma de combustible en el camión.

5.2.1 Abastecimiento y sensores de combustible

Como se puede apreciar en la figura 13, el promedio de galones abastecidos entre enero y noviembre del 2018 es de 720 a 788 galones.

Además, se hizo un estudio detallado por camión (ver figura 14), donde se puede observar que los camiones del 79 al 101 abastecen más de 1000 gal, mientras que los camiones del 102 al 140 no logran sobrepasar los 1000 gal de abastecimiento.

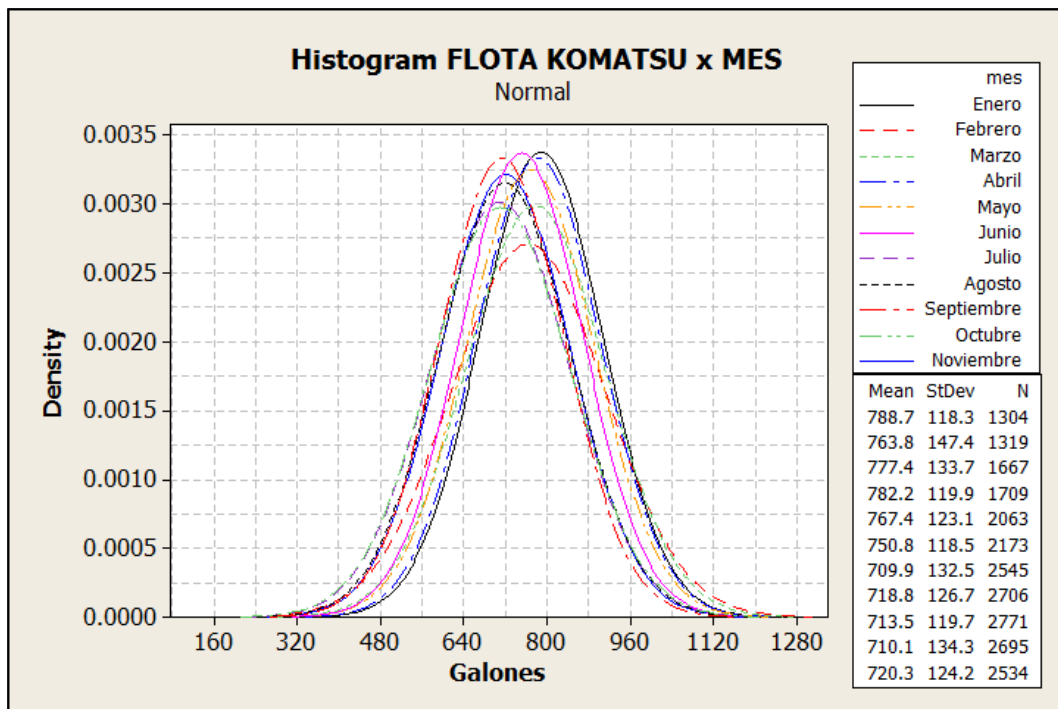


Figura 11. Histograma de galones abastecidos en los meses de enero a noviembre del 2018
(Fuente Elaboración propia).

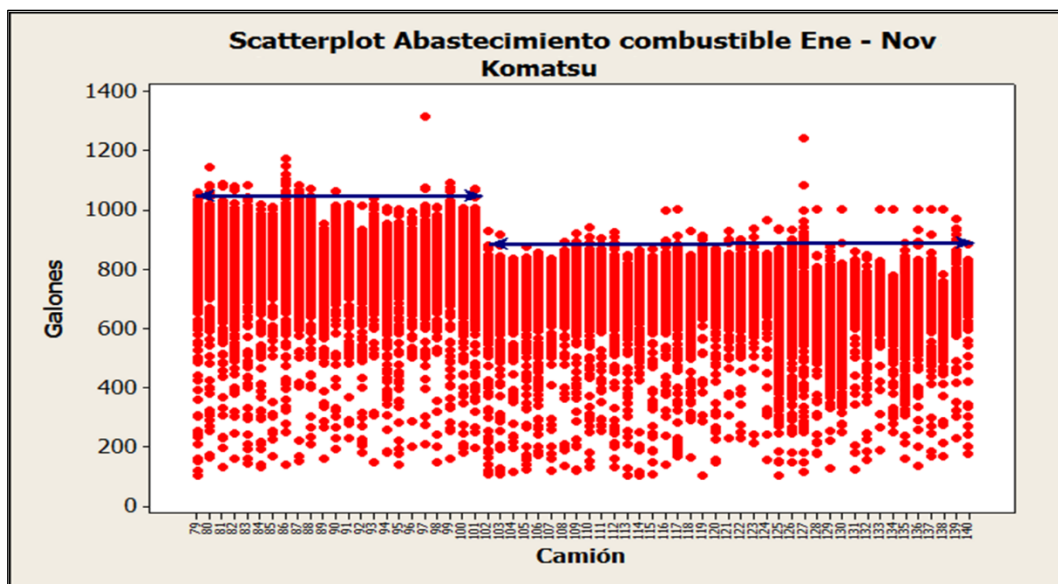


Figura 12. Galones abastecidos por camión en los meses de enero a noviembre del 2018
(Fuente Elaboración propia).

Esto conllevó a realizar un análisis de los camiones del 102 al 140. El bajo abastecimiento de estos camiones se debió a que estos poseen un sensor vertical (a

diferencia de los camiones 79 al 101 que poseen un sensor horizontal), lo cual llevaba a un cálculo errado por parte del sistema, el cual enviaba con mayor porcentaje de combustible a abastecimiento.

Como se puede observar en la figura 15, los camiones del 79 al 101 (que poseen un sensor horizontal) llegan a abastecer hasta unos 830 gal en promedio, mientras que los camiones del 102 al 140 (sensor vertical) llegan a abastecer un promedio máximo de 729 gal.

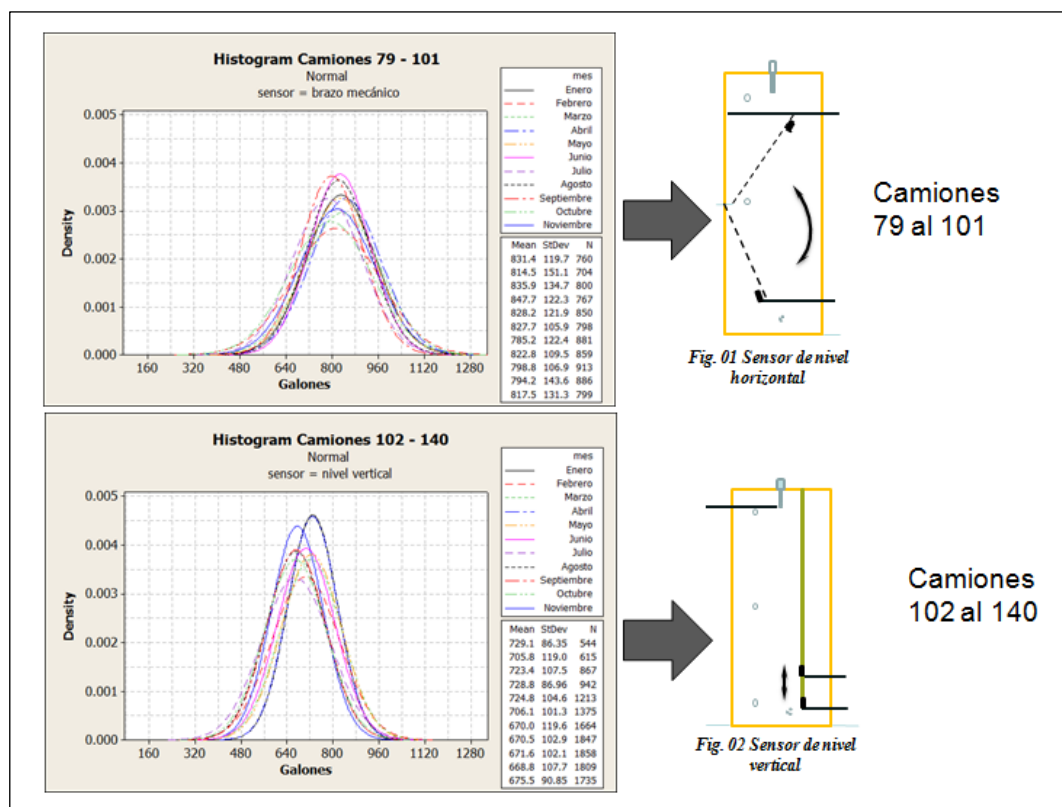


Figura 13. Galones abastecidos por tipo de sensor en camiones Komatsu (Fuente Elaboración propia).

Para corregir esto, se tuvo que modificar la lógica con la cual el sistema calcula el porcentaje de combustible remanente antes de enviarlo al grifo más próximo.

5.2.2 Tiempo entre abastecimiento de combustible

El tiempo entre abastecimiento de combustible ha ido variando de 19.2 a 16.3 horas en lo que va de enero a noviembre del 2018 (ver figura 16).

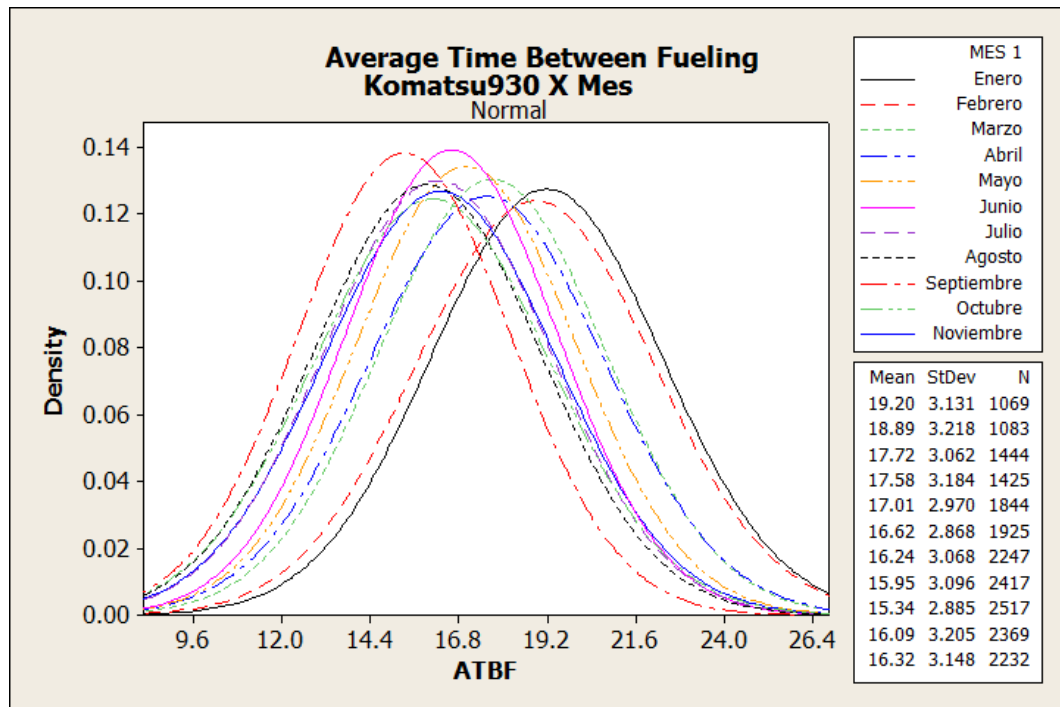


Figura 14. Histograma de tiempo entre abastecimiento

(Fuente Elaboración propia).

La razón por la cual se estableció un límite alto (30%) para la asignación al grifo responde a que la flota CAT 793 presentaba problemas con camiones sin combustible por debajo de este porcentaje y se repitió la lógica para la flota Komatsu.

5.2.3 Auto asignación a grifo

En nuestras visitas al grifo (para mayor detalle de los grifos ver anexo C) comprobamos que tanto los operadores de grifo y los conductores tienen una idea preconcebida de rellenar máximo 850 galones.

Los operadores de camión bajo su percepción se autoasignan al grifo según ellos cuando encuentran el grifo libre o cuando está por debajo de la 1/2 o 1/4 del indicador del tablero de combustible.

Se determinó que casi el 30% de las asignaciones al grifo se realizan por autoasignación (ver figura 17) con lo cual la lógica del sistema no trabaja correctamente.

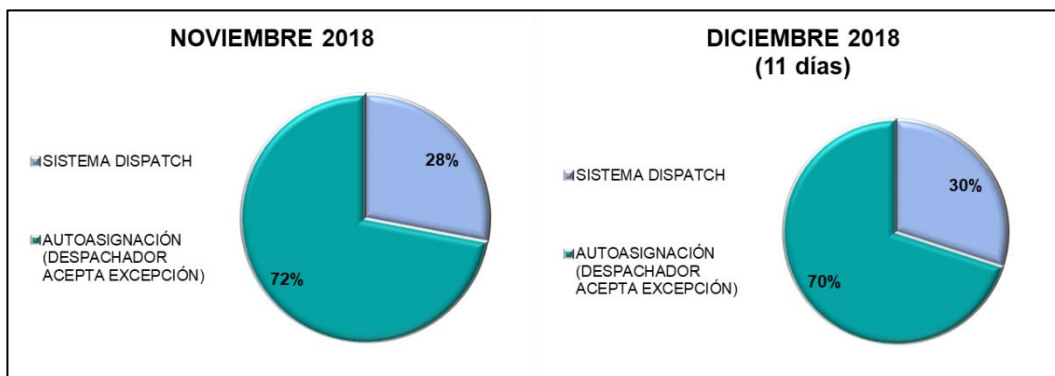


Figura 15. Asignaciones de combustible por tipo

(Fuente Administración flota mina, Antamina).

5.2.4 Mejoras y controles

Se realizaron las siguientes mejoras:

- Se eliminó la autoasignación, lo que significa que los camiones solo se dirigirán al grifo cuando la lógica del sistema lo indique o bajo autorización del despachador.
- Se realizaron pruebas (por más de 1 mes) que consisten en disminuir el % de combustible remanente a la cual el sistema envía los camiones al grifo más cercano de forma selectiva, teniendo en cuenta el tipo de tanque. Inicialmente la prueba se realizó en 16 camiones, 8 por cada tipo de tanque.
- Se estableció un nivel de alerta a partir del cual el camión debe ser asignado al grifo, concretamente cuando se enciende físicamente la alarma de combustible en el camión, con lo cual el operador tiene una autonomía de 105 galones (1.5 horas) para poder llegar al grifo más cercano.

5.2.5 Resultados

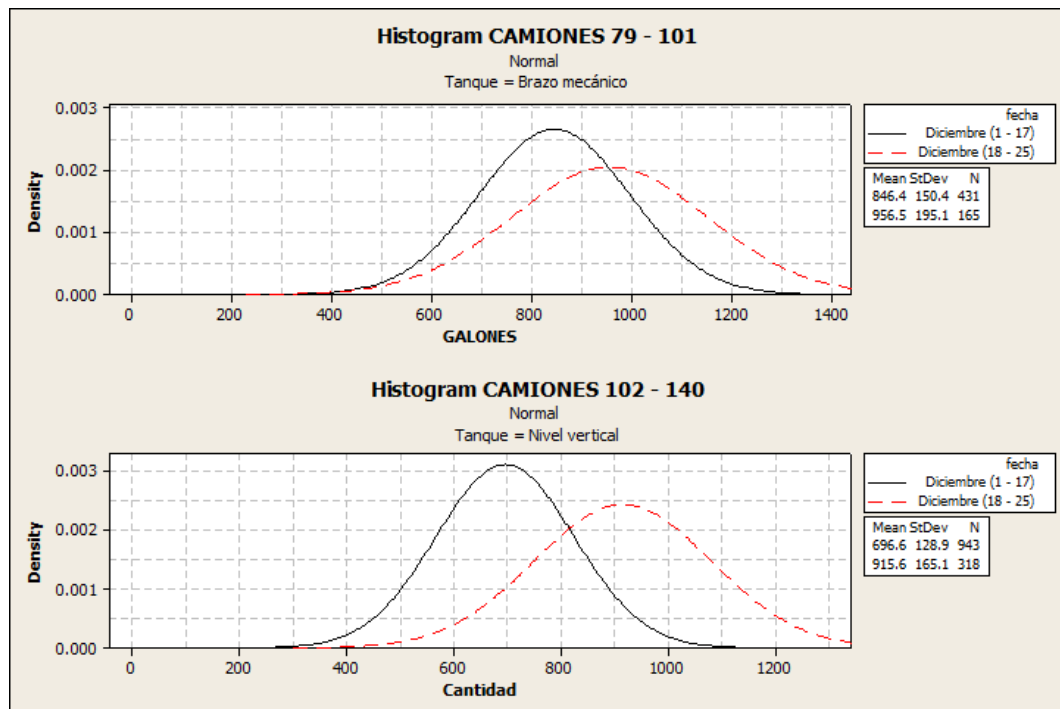


Figura 16. Histograma de cantidad de combustible en el tanque

(Fuente Elaboración propia).

Como se puede observar en la figura 18, se aumentó el abastecimiento de 846 a 956 galones para los camiones del 79 al 101, mientras que en los camiones del 102 al 140 se obtuvo una notable alza de 696 a 915 galones.

Analizando el número de eventos diarios (abastecimiento de combustible) pudo notarse una considerable mejora. Se disminuyó a 97 eventos de un promedio mayor a 120 abastecimientos por día (ver figura 19).

Tabla 1. Cantidad de eventos por abastecimiento de combustible (2018).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic 01-17	Dic 18-26
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	17	9
N° de eventos	3077	2838	3287	3494	3807	3722	4088	3902	3974	3796	3683	2036	873
Eventos por día	99	101	106	116	123	124	132	126	132	122	123	120	97

Fuente: Administración de flota mina, Antamina.

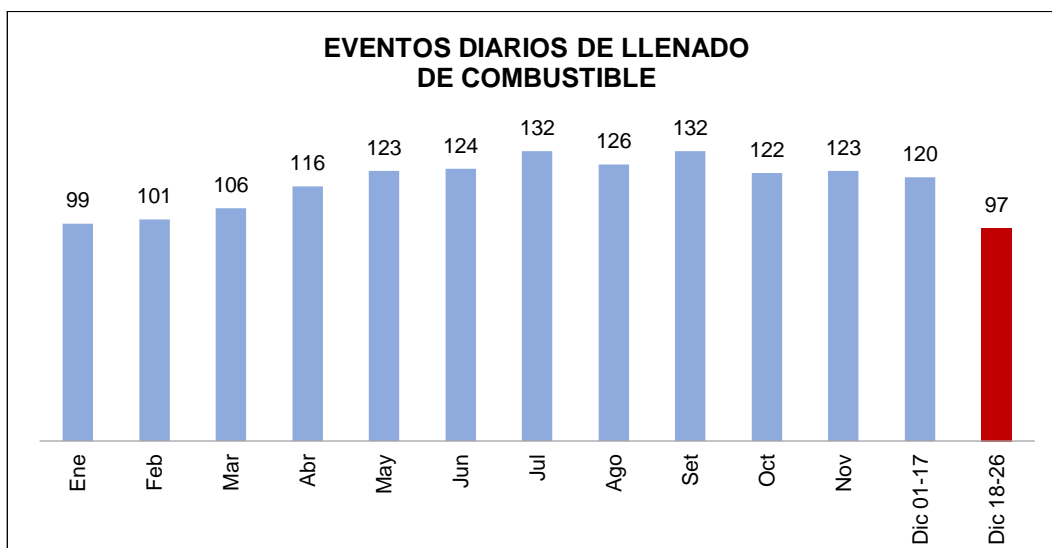


Figura 17. Cantidad de eventos de llenado de combustible 2018

(Fuente Elaboración propia).

5.3 Mejora del proceso de abastecimiento de combustible

A finales del año 2018 se realizó un análisis de valor agregado del procedimiento actual de abastecimiento de combustible, el objetivo es que mediante un estudio descriptivo de cada una de las actividades del proceso se identifiquen actividades innecesarias susceptibles de ser eliminadas o modificadas.

Con la implementación de este proyecto se espera reducir en 4 minutos aproximadamente el tiempo de cada evento de recarga.

5.3.1 Procedimiento de abastecimiento de combustible

El procedimiento anterior de abastecimiento de combustible constaba de 10 actividades, cada una de ellas realizadas en forma secuencial. El tiempo de llegada al grifo, apagado de motor, bajada de operador, bloqueo Repsol e inicio de abastecimiento se carga como una demora a operaciones mina, lo demás se carga como una detención de proceso a cargo de mantenimiento, todo el proceso demora aproximadamente 23 minutos.

1. **Llegada al grifo:** Es el tiempo que demora el camión en llegar a la bahía de abastecimiento y estacionarse con la ayuda del operador de la E.S.
2. **Apagado de motor:** Es el tiempo que demora el camión desde que llegó a la bahía y se termina de apagar el motor.
3. **Bajada del operador:** Es el tiempo que demora el operador en bajar del equipo de acarreo.
4. **Bloqueo Repsol:** Es el tiempo que demora el operador de la E.S. en bloquear el equipo.
5. **Inicio de abastecimiento:** Es el tiempo que demora en abastecer combustible el camión.
6. **Termino de abastecimiento:** Es el tiempo que demora en recoger la manguera, imprimir el ticket, etc.
7. **Espera llantas y lubricación:** Es un tiempo de demora extra en caso no se hayan concluido el mantenimiento de llantas y lubricación en el tiempo de abastecimiento.
8. **Desbloqueo:** Es el tiempo que demora desbloquear el equipo para su posterior uso.
9. **Subida del operador:** Es el tiempo que demora el operador en subir a su equipo después de haber concluido con el abastecimiento.
10. **Salida:** Es el tiempo que demora prender el motor y salir de la E.S.

5.3.2 Análisis de valor agregado

Se analizaron 10 actividades (ver figura 20), encontrándose que 7 (70%) agregan valor y 3 (30%) no agregan valor. El 30% de las actividades pueden ser mejorados o se pueden eliminar, esto permite plantear la necesidad de que se busquen mecanismos para eliminar estas actividades y que además se establezcan

estrategias tecnológicas para reducir el tiempo en aquellas actividades que no agregan valor y que no pueden ser eliminados.

Se identificaron tres actividades que no generan valor: Bajada de operador, subida de operador y revisión de llantas y lubricación.

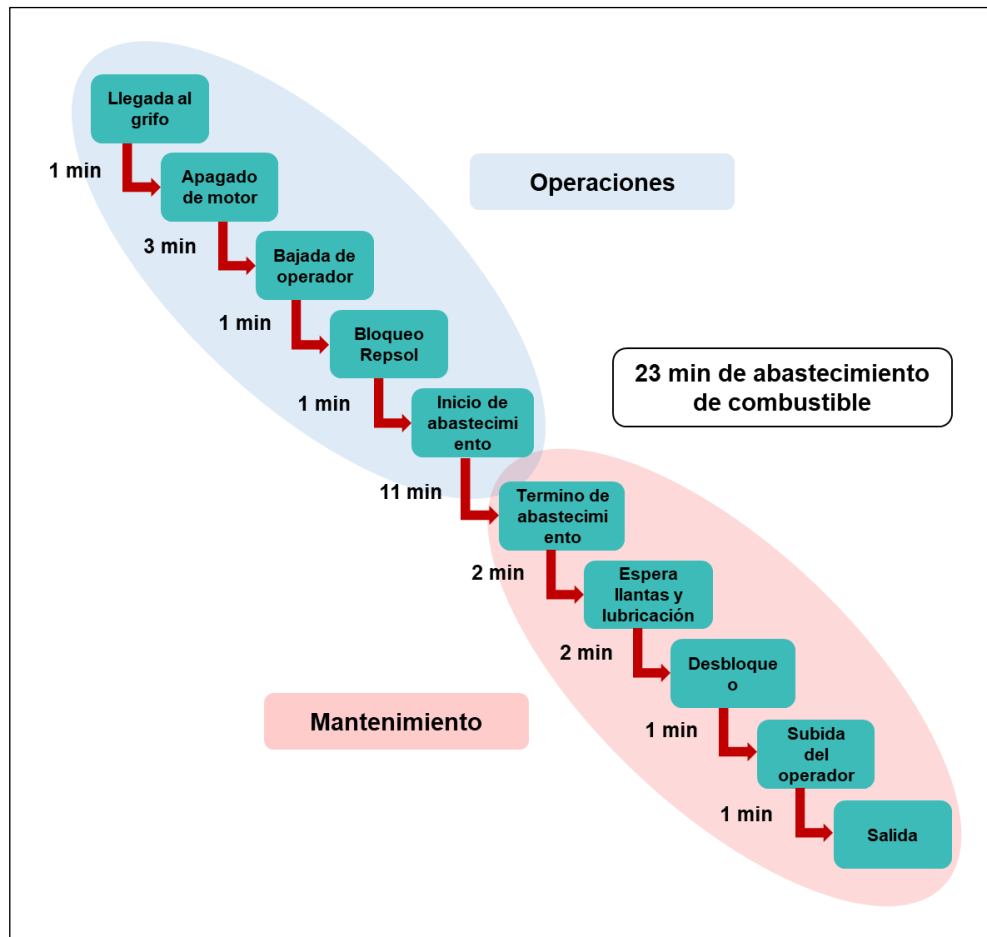


Figura 18. Flujograma del proceso de abastecimiento de combustible
(Fuente Elaboración propia).

5.3.3 Mejoras y controles

- Se propone modificar el procedimiento de abastecimiento de combustible previa coordinación con las áreas involucradas, seguridad y operaciones (ver figura 21).
- Se eliminó las actividades de bajada de operador y subida de operador.

- Se propone realizar la lubricación y revisión de llantas en simultáneo con la actividad apagado de motor.

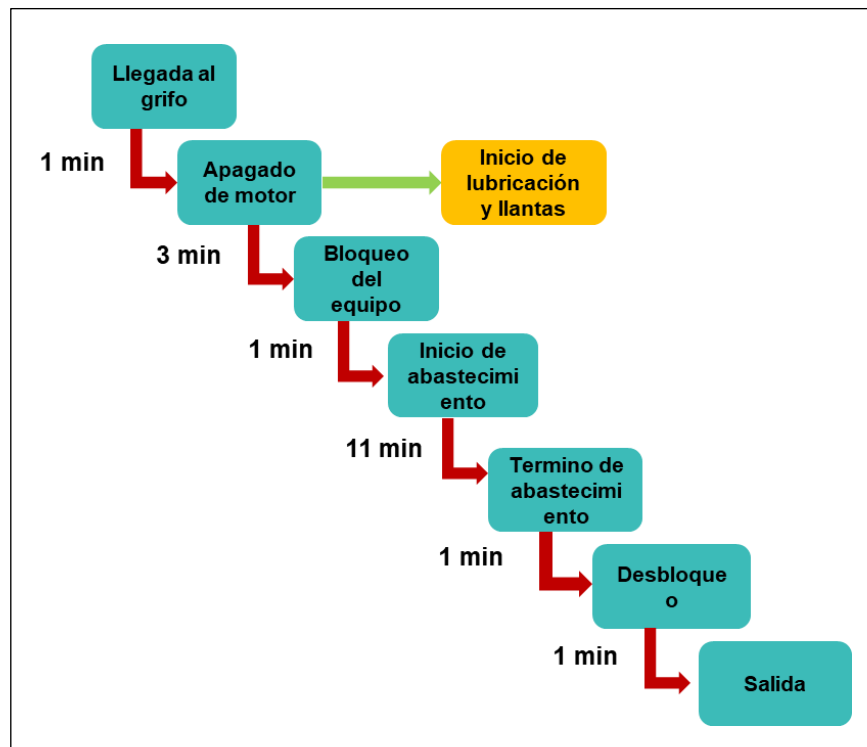
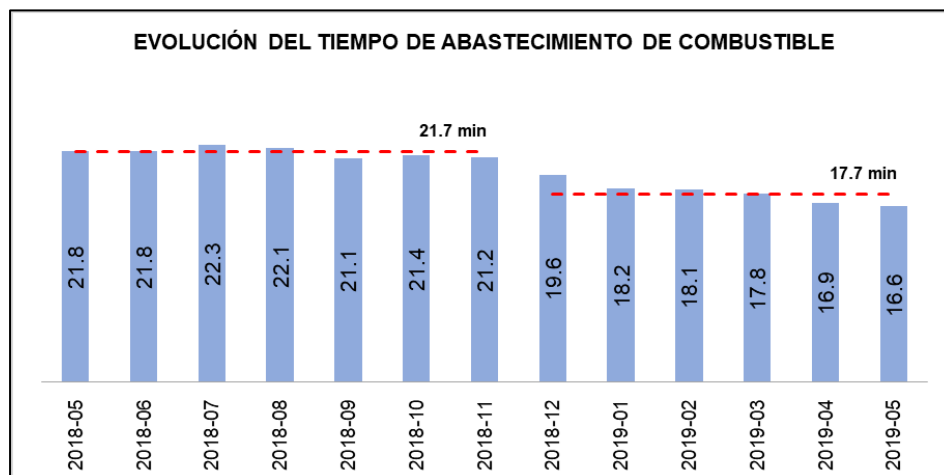


Figura 19. Flujograma propuesto de abastecimiento de combustible
(Fuente Elaboración propia).

5.3.4 Resultados

Se redujo el tiempo de abastecimiento de una media de 21.7 min (en 2018) a un promedio de 17.7 min (a partir del año 2019), reduciendo el tiempo de abastecimiento en 4 min por cada evento de recarga (ver figura 22).



**Figura 20. Mejora del tiempo de abastecimiento de combustible
(Fuente Administración flota mina, Antamina).**

5.4 Instalación de Sistema VR-300 en Grifo Baja Ley

Según la data analizada entre enero y setiembre del 2017 (los histogramas se encuentran en el anexo D), el tiempo promedio de abastecimiento de combustible es de 21 minutos en el Grifo 4448, 24 minutos en el Grifo Chancadora y 25 minutos en el Grifo Baja Ley, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2 Tiempo de abastecimiento y número de eventos por grifo (2017).

GRIFO 4448			GRIFO CHANCADORA			GRIFO BAJALEY		
Mes	Tiempo	N° Eventos	Mes	Tiempo	N° Eventos	Mes	Tiempo	N° Eventos
Ene	24	1885	Ene	26	678	Ene	27	654
Feb	23	1622	Feb	27	583	Feb	27	594
Mar	22	1543	Mar	24	585	Mar	26	616
Abr	21	1648	Abr	24	609	Abr	25	531
May	21	1807	May	23	653	May	24	575
Jun	20	2056	Jun	23	602	Jun	23	570
Jul	20	2066	Jul	24	558	Jul	24	687
Ago	20	2085	Ago	24	586	Ago	24	704
Set	21	1938	Set	25	542	Set	25	648
Promedio	21	1850	Promedio	24	600	Promedio	25	620
CAUDAL	130 GPM		CAUDAL	100 GPM		CAUDAL	90 GPM	

Fuente: Administración de flota mina, Antamina.

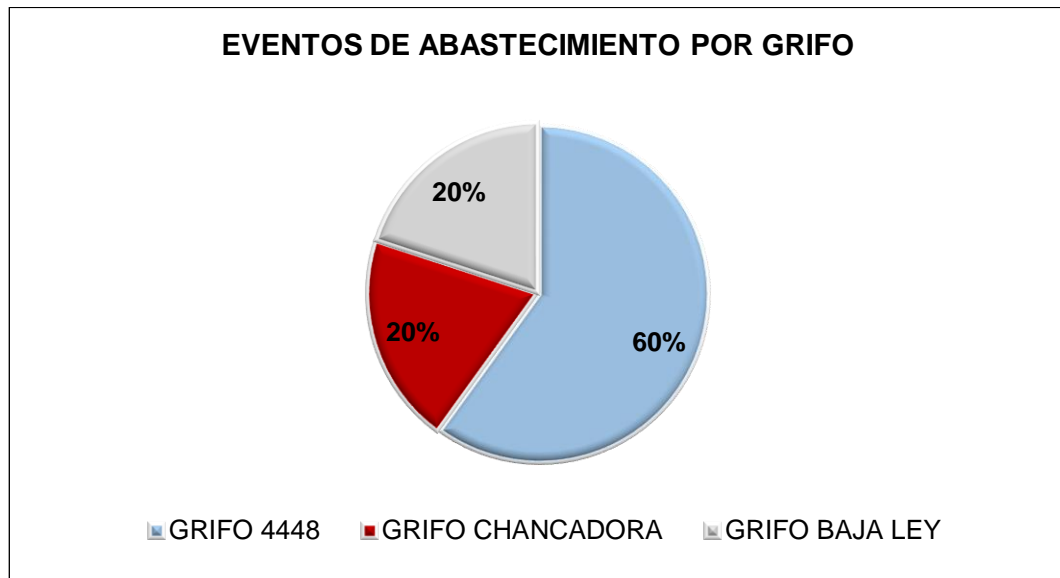


Figura 21. Distribución de eventos de abastecimiento por grifo
(Fuente Administración de flota mina, Antamina)

El tiempo del proceso abastecimiento del grifo Baja Ley es mayor a los grifos Chancadora y 4448, debido principalmente a que la válvula del grifo Baja Ley tiene un caudal menor de 90 GPM en promedio, lo cual hace que el subproceso abastecimiento de combustible demore casi un 50% del tiempo total del proceso.

5.4.1 Mejoras y controles

Dentro de las mejoras a considerarse:

- Para mejorar el tiempo del subproceso abastecimiento de combustible, se instaló una válvula de 300 GPM en el grifo Baja Ley el cual permitirá reducir el tiempo del subproceso hasta una tercera parte del tiempo actual.
- Realizar un seguimiento diario de los indicadores relacionados al proceso de abastecimiento.

5.4.2 Resultados

Se logró reducir el tiempo de abastecimiento de combustible de una media de 23.5 min a 14 min por cada evento de recarga (ver figura 24), incrementando las horas

operativas anuales en 1,400 horas, lo cual se traduce en un mayor tonelaje movido por año.

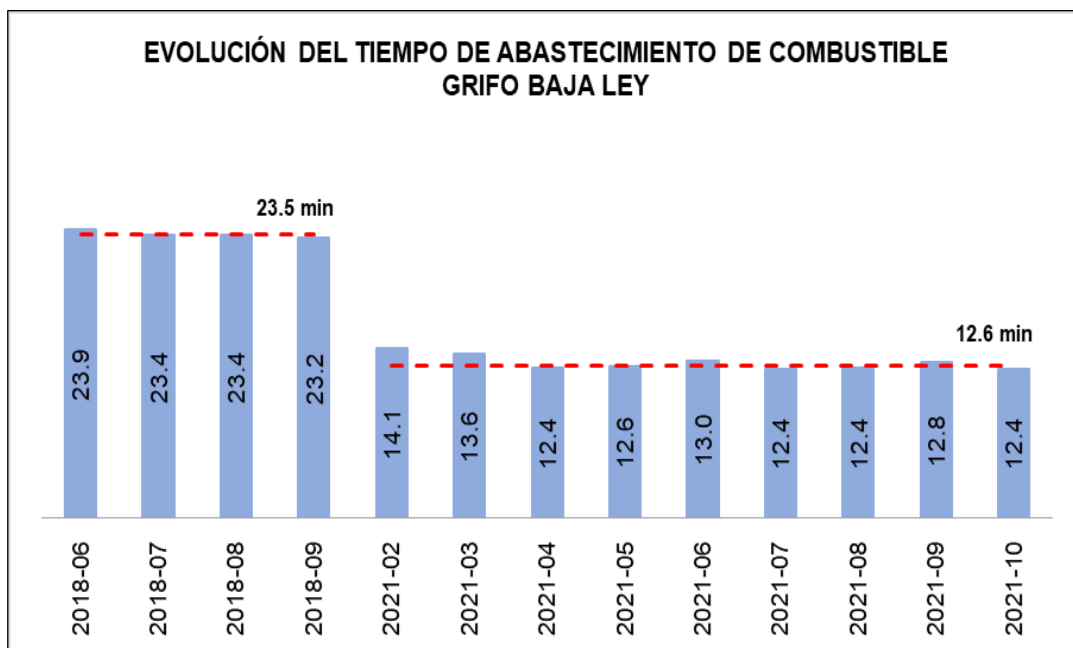


Figura 22. Evolución del tiempo de abastecimiento grifo Baja Ley
(Fuente Administración flota mina, Antamina).

5.5 Resultados generales

El tiempo de abastecimiento de combustible y la variabilidad se redujo mediante la implementación de la metodología Six Sigma (ver figura 25).

En la figura 25 se observa que en el año 2018 (pre-test) el tiempo medio de abastecimiento en los 3 grifos era de **21.7 min**, con las mejoras implementadas dicho tiempo se redujo a **15.4 min** en el año 2021 (post test), asimismo, la variabilidad se redujo de **4.6** en el 2018 a **3.4** en el 2021.

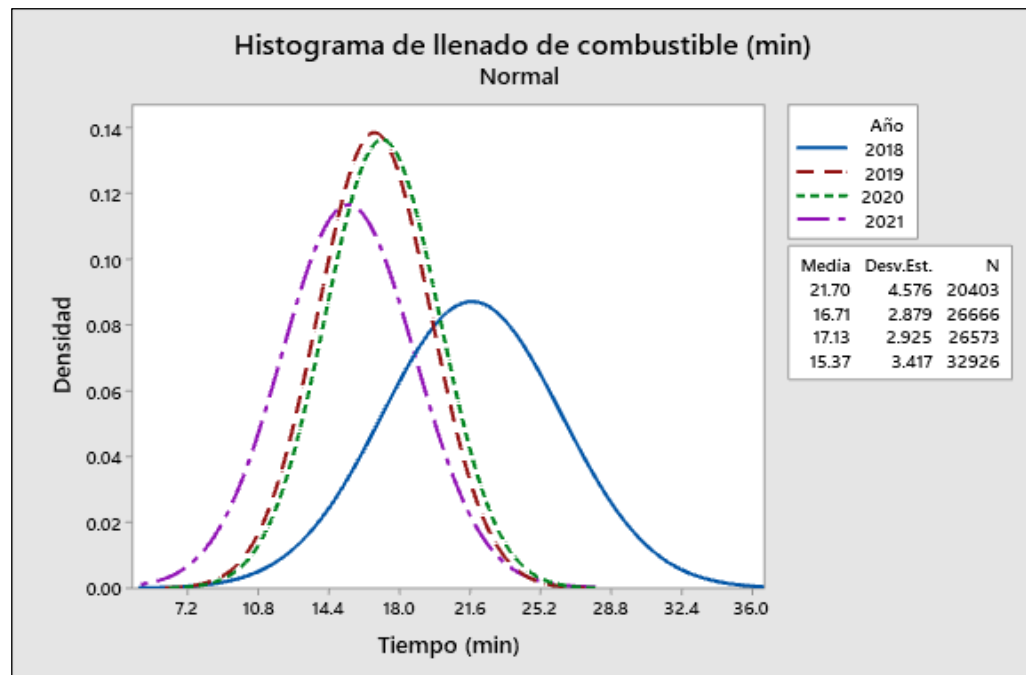


Figura 23. Histograma del tiempo de abastecimiento en los 3 grifos
(Fuente Administración flota mina, Antamina).

5.6 Resultados estadísticos de las muestras

A continuación, se muestra el procedimiento realizado en este trabajo de investigación pre experimental para la validación de la hipótesis general:

1. La implementación de la metodología Six Sigma establece dos etapas, una correspondiente al pre-test (situación inicial) y otra al post-test (situación final).
2. Se recolectó información del indicador tiempo de abastecimiento de combustible correspondiente al año 2018 (pre-test), es decir, antes de implementar la metodología Six Sigma, con el objetivo de visualizar el estado inicial.
3. Para reducir el tiempo de abastecimiento de combustible, se implementaron proyectos de mejora basados en la metodología Six Sigma orientados a reducir el indicador tiempo de abastecimiento de combustible, tales como:

Incremento de la cantidad de combustible abastecido, mejora del proceso de abastecimiento de combustible e instalación del sistema VR-300.

4. Después de la implementación de los proyectos de mejora, se recolectó información del indicador tiempo de abastecimiento de combustible correspondiente al post-test, es decir, al año 2021.
5. Finalmente, se realizó la medición del efecto de la implementación de la metodología Six Sigma, mediante herramientas y pruebas estadísticas.

5.6.1 Estadística descriptiva de las muestras

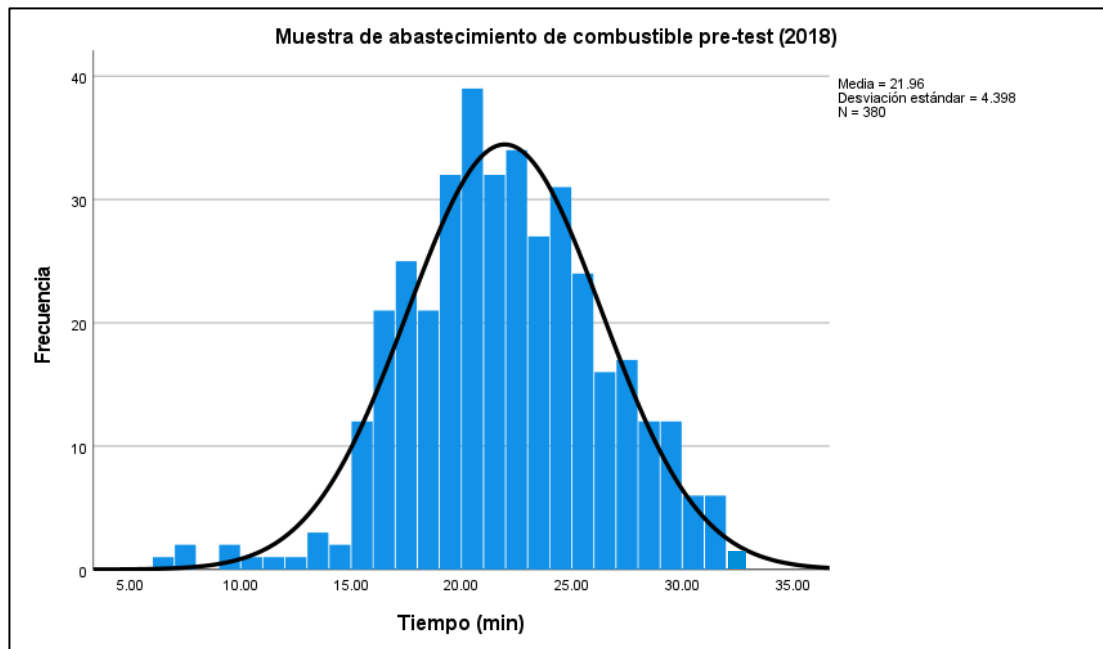
A continuación, se muestran los resultados de las principales estadísticas descriptivas de tendencia central y dispersión de las muestras.

Tabla 3. Medidas de tendencia central y dispersión de las muestras.

Medidas	Muestra pre-test (2018)	Muestra post-test (2021)
Media	21.9620	15.2688
Desviación estándar	4.39800	3.66400
Error estándar	0.22563	0.18798
IC 95% Límite inferior	21.5183	14.8992
IC 95% Límite superior	22.4056	15.6384

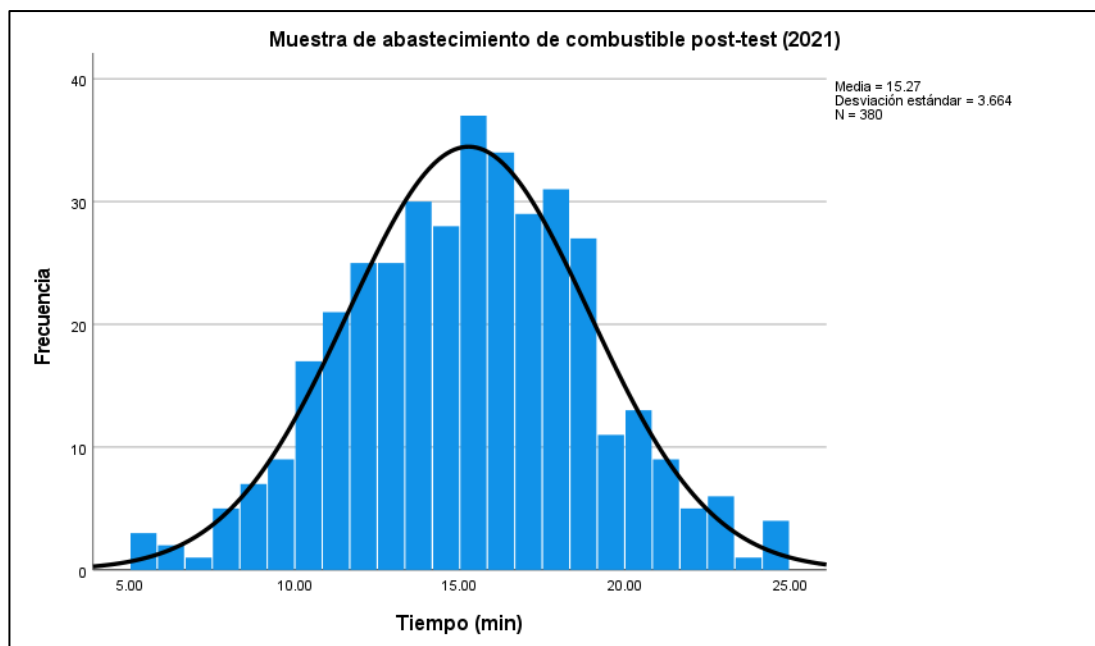
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 3 se observa que el promedio del tiempo de abastecimiento de la muestra del pre-test (2018) es 21.962 con una variación de 4.398, para un estudio de la misma población con un 95% de confianza los valores de la media se encontrarán entre 21.5183 y 22.4056. El promedio del tiempo de abastecimiento de la muestra del post-test (2021) es 15.2688 con una variación de 3.664, para un estudio de la misma población con un con un 95% de confianza los valores de la media se encontrarán entre 14.8992 y 15.6384.



**Figura 24. Histograma del tiempo de abastecimiento de la muestra pre-test 2018
(Fuente Elaboración propia).**

En la figura 26 se observa que el histograma sigue una distribución normal simétrica con una media de 21.96.



**Figura 25. Histograma del tiempo de abastecimiento de la muestra post-test 2021
(Fuente Elaboración propia).**

En la figura 27 se observa que el histograma sigue una distribución normal simétrica con una media de 15.27.

5.6.2 Prueba de hipótesis

5.6.2.1 Prueba de normalidad de muestras

Para la selección de la prueba estadística, se realizaron pruebas de normalidad para ambas muestras (pre-test y post-test), seleccionando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, dado que la muestra (380 transacciones) es mayor a 30, para la realización de la prueba se consideró un error inferior al 5% para asumir distribuciones significativamente diferentes a la normal, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4. Resultados de la prueba de normalidad.

Periodo	Prueba estadística	p-valor	Resultado
Pre-test (2018)	Kolmogorov-Smirnov	0.2	Los datos siguen una distribución normal
Post-test (2021)	Kolmogorov-Smirnov	0.2	Los datos siguen una distribución normal

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 4, los pares (2018 y 2021) comparados siguen distribuciones normales, por ello se utilizarán pruebas paramétricas, específicamente, la prueba de t-student para muestras relacionadas (2 medias relacionadas, antes y después).

5.6.2.2 Resultados de la hipótesis general

Paso 1: Formulación de hipótesis

(H_0) : Mediante la aplicación de la metodología Six Sigma, el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros no se reduce ($\mu_1 = \mu_2$).

(H_1) : Mediante la aplicación de la metodología Six Sigma, el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros se reduce ($\mu_1 > \mu_2$).

Paso 2: Selección de nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Paso 3: Selección del estadístico de prueba

Prueba t de student para muestras relacionadas.

Paso 4: Regla de decisión**Tabla 5: Prueba de muestras emparejadas (SPCC).**

Par 1	2018	- 2021	Media	Desviación estándar	Diferencias emparejadas		t	gl	Significación p-valor	
					Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior				
			6.69320	5.69895	.29235	6.11837	7.26803	22.894	379	<.001

Fuente: Elaboración propia.

$$p - \text{valor} = 9.1972 \times 10^{-74}$$

Paso 5: Toma de decisión

Si $p\text{-valor} > \alpha$ (Se acepta H_0)

Si $p\text{-valor} < \alpha$ (Se rechaza H_0)

Por lo tanto

$$p\text{-valor} < \alpha$$

$$9.1972 \times 10^{-74} < 0.05$$

Entonces se rechaza H_0 .

Con una probabilidad del 0% menor al nivel de significancia del 5%, **existe suficiente evidencia para concluir que mediante la aplicación de la metodología Six Sigma, el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros se reduce.**

CONCLUSIONES

- Con la aplicación de la metodología Six Sigma, se logró reducir el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros KOM 930E4 de alrededor de 22 min a 15 min.
- Se controló (redujo) la variabilidad de las detenciones por abastecimiento de combustible mejorando la eficiencia del proceso.
- En la industria minera, caracterizado por los ciclos cambiantes de las materias primas, la optimización de los procesos productivos, mediante herramientas de mejora de procesos como el Six Sigma, otorga beneficios adicionales que permiten obtener un mayor retorno de los activos.
- Los nuevos avances tecnológicos en el área de la informática y la optimización de los procesos relacionados a la gestión de datos permitieron mediante una integración de distintas fuentes, desarrollar un programa que transfiere la información en tiempo real desde la base de datos externa de Repsol a Dispatch, el cual permite el acceso a la información en todo momento, abriendo nuevas oportunidades de mejora.
- **Autonomía**: Se logró aumentar los galones abastecidos de 750 Gal a 950 Gal en promedio por cada evento de recarga, lo que otorga a los camiones una mayor autonomía (4 horas adicionales aproximadamente), disminuyendo el número total de recargas en un horizonte de tiempo y aumentando las horas operativas. Ante el camión llegaba cada 17 horas al grifo con esta implementación llega cada 21 horas al grifo.
- El diagnóstico del diagrama de flujo del proceso de abastecimiento de combustible y el análisis de valor agregado, permitieron identificar actividades innecesarias en el procedimiento actual, su modificación logró reducir el tiempo en 3 minutos por cada evento de recarga.

- Con la implementación del nuevo sistema VR-300 GPM en el grifo Baja Ley se logró reducir el tiempo del subproceso abastecimiento de combustible de una media de 12 minutos a 4 minutos por cada evento.
- El impacto en la operación minera es considerable, para Antamina incrementar 7 minutos de operación en toda la flota equivale a 1% de utilización que en cifras de movimiento de material es de 1.4M TM al año. Con la implementación de los cuatro proyectos antes mencionados, se aumentó la utilización de la flota en un 3,2%, lo que significa 4.2 M Tm adicionales anualmente que en caso de mantener los demás parámetros operacionales constantes se puede lograr un incremento tonelaje movido.
- En la actualidad las empresas que desean mejorar y mantenerse competitivas ponen mucho énfasis en la mejora de sus procesos utilizando diferentes metodologías, bajo esta realidad las empresas mineras cuentan con áreas enfocadas a mejorar los procesos de la mina.
- En Antamina la gerencia de mina maneja el 80% del presupuesto general de la compañía por tanto para generar beneficios trascendentes en la empresa se deben realizar proyectos enfocados en los principales gastos los que son 50% combustible, 30% neumáticos y el resto explosivos.

RECOMENDACIONES

1. Para evitar errores en el cálculo del porcentaje de combustible remanente y que el sistema funcione correctamente en la asignación de los camiones hacia los grifos, es recomendable la implementación de sensores de nivel horizontal en todos los equipos con la finalidad de corregir este proceso.
2. En vista de que el programa piloto implementado en el Grifo Baja Ley ha resultado exitoso, se recomienda replicar la instalación de la válvula VR-300 GPM en los dos grifos restantes en el corto plazo.
3. Un riesgo asociado a la mejora del proceso de abastecimiento de combustible es que los operadores no cumplan con los nuevos lineamientos propuestos y se mantengan bajo el sistema actual de trabajo, esto podría generar que no haya mejoras sustanciales en el proceso productivo, por ello se recomienda mantener un control continuo de las actividades que forman parte de este proceso.
4. También resulta interesante evaluar el caso de negocio, que genera el incremento en la productividad de los equipos, ya que, si bien en este trabajo se consideró el incremento de la utilización a través de la mejora del proceso de abastecimiento de combustible, no se analizó cuantitativamente el efecto que tendría sobre los costos.
5. Es importante que los colaboradores de las organizaciones mantengan una permanente búsqueda de creación de valor como parte de su cultura organizacional, incorporando nuevas herramientas de mejora de procesos y tecnologías en la operación, ya que estos cambios disruptivos en los procesos conllevan a generar beneficios sustanciales.

BIBLIOGRAFIA

Juran. Joseph M. Juran/ A. Blanton Godfrey. (2016) Manual de calidad.

McGraw Hill.

Donald W. Marquardt. DuPont (2018) Quality Product quality management

Management and Technology.

Philip B. Crosby. EEUU. Library of Congress Catalog Card Number: 79-89296

Quality is free.

ASQC Quality Press. Specifications for the Chemical and Process Industries

Larry Gonick/Woolcott Smith (2017). La estadística en comic. Editorial Zandrera

Zariquiey.

Maya Hector, Rodriguez-Salazar Jesus, Rojas Julieta, Zazueta Guillermo; Editorial

Oceánica; (1996). Estrategias de Manufactura aplicando la metodología Six-

Sigma.

Harry Mikel Schoeder Richard; Mc Graw Hill Editorial. (2000). Six Sigma. The

breakthrough Management Strategy.

Brown Steve, Morrison George; Editorial Trillas (1991). The Introduction to Six-

Sigma Methodology.

Robertson David & Smith Hanniel. (2015). Six-Sigma Methodology applied to the

industrial process.

ANEXOS

6.1 Anexo A: Matriz de consistencia

Problema	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensión	Indicadores	Metodología
¿El tiempo de abastecimiento de combustible se reduce mediante la implementación de la metodología Six Sigma?	Reducir el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros KOM 930E4 de 22 min a 15 min, mediante la implementación de la metodología Six Sigma.	Mediante la implementación de la metodología Six Sigma, el tiempo de abastecimiento de combustible en camiones mineros se reduce.	Variable independiente: Metodología Six Sigma.	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad del proceso. Capacidad de proceso. Error sistemático. 	<ul style="list-style-type: none"> Sigma métrica. CPK. ES crítico. 	Tipo y diseño de la investigación: El tipo de la investigación es cuantitativo de diseño pre-experimental. Unidad de análisis: Camiones mineros KOM 930E4, de donde se obtendrán las transacciones (datos). Tamaño de la muestra: El tamaño de la muestra es de 380 transacciones, tanto para el pre-test (2018) como para el pos-test (2021). Selección de la muestra: La muestra fue seleccionada al azar a partir de los datos obtenidos de la base de datos SQL. Técnica de recolección de datos: Los datos fueron obtenidos de la base de datos SQL del FMS. Análisis e interpretación de la información Se utilizó el paquete estadístico SPSS, para realizar el análisis estadístico y las pruebas de hipótesis.
			Variable dependiente: Abastecimiento de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> Abastecimiento de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de abastecimiento. 	
Problema	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables	Dimensión	Indicadores	
¿La variabilidad de las detenciones por abastecimiento de combustible se reduce mediante la implementación de la metodología Six Sigma?	Controlar la variabilidad de las detenciones por abastecimiento de combustible mediante la implementación de la metodología Six Sigma.	La metodología Six Sigma permite controlar la variabilidad del proceso de abastecimiento de combustible.	Variable independiente: Metodología Six Sigma.	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> Sigma métrica. 	
			Variable dependiente: Abastecimiento de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> Abastecimiento de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> Variabilidad. 	
¿El análisis de valor agregado del proceso de abastecimiento de combustible reduce el tiempo de abastecimiento?	Reducir el tiempo de abastecimiento de combustible mediante el análisis de valor agregado.	El análisis de valor agregado reduce el tiempo de abastecimiento de combustible.	Variable independiente: Análisis de valor agregado.	<ul style="list-style-type: none"> Valor agregado. 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia del proceso. 	
			Variable dependiente: Abastecimiento de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> Abastecimiento de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de abastecimiento. 	
¿La implementación del sistema VR-300 reduce el tiempo de abastecimiento de combustible?	Reducir el tiempo de abastecimiento de combustible mediante la implementación del sistema VR-300.	La implementación del sistema VR-300 reduce el tiempo de abastecimiento de combustible.	Variable independiente: Sistema VR-300.	<ul style="list-style-type: none"> Tamaño de pistola. 	<ul style="list-style-type: none"> Caudal. Presión. 	
			Variable dependiente: Abastecimiento de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> Abastecimiento de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de abastecimiento. 	

6.2 Anexo B: Sistema EasyFuel

6.2.1 Software

a. Zeus.net

Este software recibe los datos a través de una interfaz serial 485 y se conecta a una base de datos de SQL Server Express en el que se almacena la información recibida por los camiones.

b. SQL Server Express

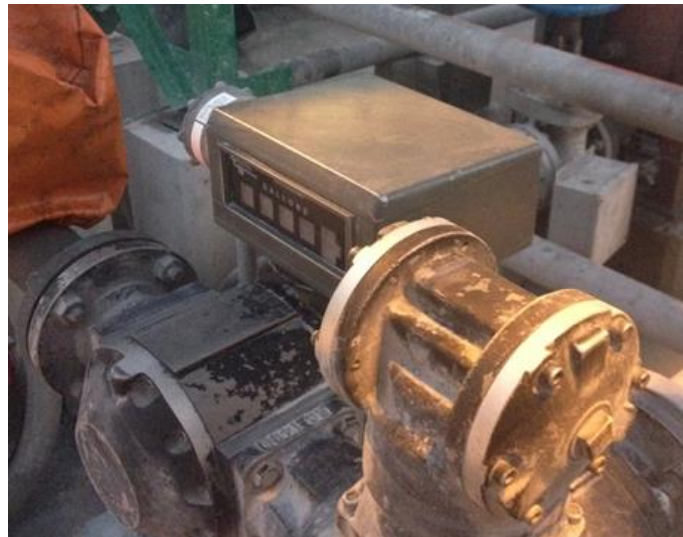
Cada equipo tiene una base de datos en SQL Server Express, en donde se almacena localmente la información cada 24 horas.

Mediante un dispositivo USB la información es exportada a un servidor central donde se guarda la data histórica para fines de gestión mensual.

6.2.2 Hardware

a. Flujómetro digital

Registra información de la cantidad de galones abastecidos en cada transacción.



**Figura 26. Flujómetro digital
(Fuente Repsol).**

b. Electroválvula

Regula el paso del combustible a través de la tubería.



**Figura 27. Electroválvula
(Fuente Repsol).**

c. Equipo de radio frecuencia

Reconoce los equipos que llegan al grifo y establece conexión con el mainboard de los camiones para obtener información de los signos vitales.



**Figura 28. Equipo de radio frecuencia
(Fuente Repsol).**

d. Tablero EasyFuel

Contiene la tarjeta controladora del sistema, envía la información registrada vía RS485 a la máquina contenedora del software.



**Figura 29. Tablero EasyFuel
(Fuente Repsol).**

6.2.3 Funcionamiento.

- Cada llenado de combustible se trata como un ticket, el cual tiene un número de transacción único.
- Cuando el camión llega al grifo es identificado por el equipo de radio frecuencia, que se conecta directamente al mainboard del camión y obtiene datos relacionados a los signos vitales.
- Se abre la electroválvula, iniciándose el proceso de llenado de combustible, en ese momento inicia a contar el flujómetro.
- Finalmente, cuando el proceso termina se cierra la válvula y el flujómetro se detiene registrándose la cantidad de galones y la hora final de la transacción.

6.3 Anexo C: Grifos en Antamina

Se cuenta con tres grifos: Grifo 4448, Grifo Chancadora y Grifo Baja Ley. Los cuales cuentan con un promedio mensual de despachos de 1850, 600 y 620, respectivamente.

6.3.1 Grifo 4448

El Grifo 4448 tiene un caudal promedio de abastecimiento de 130 gal/min y abastece al 60% de la flota de camiones. Cuenta con dos bahías de abastecimiento. Cuenta con servicio de lubricación y llantas a cargo de Skanska y Neuma. Cuenta con cuatro (04) tanques de 15,000 galones que abastecen este grifo.

Principales demoras asociadas a este grifo son:

- Espera (o cola) en Grifo.
- Apagado de motor.
- Abastecimiento (cuando están abasteciendo en ambas bahías, hacen un corte por seguridad debido a que la bomba sigue funcionando y la manguera queda presurizada, esto demora alrededor de un minuto.
- Subida del operador (algunos operadores demoran para subir porque estuvieron distraídos durante el tiempo de abastecimiento)
- Apagado de válvula al terminarse uno de los cuatro tanques de abastecimiento y accionamiento del siguiente tanque.

6.3.2 Grifo Chancadora

Tiene un caudal promedio de abastecimiento de 100 gal/min y abastece al 20% de la flota de camiones. Cuenta con una sola bahía de abastecimiento. No cuenta con servicio de lubricación e inspección de llantas. Un camión cisterna con capacidad de 8,000 Gal abastece este grifo, requiere un cambio de camión cisterna cada 07 camiones abastecidos.

Las principales demoras asociadas a este grifo son: el tiempo que demora en desviarse un camión desde la chancadora hasta el Grifo y el tiempo de salida por baja visibilidad. Otra demora importante se debe al cambio de camión cisterna que abastece este grifo, dado que se requiere parar el abastecimiento a un camión para realizar dicho cambio, llegando a una demora de 40 minutos en algunas ocasiones.

6.3.3 Grifo Baja Ley

Tiene un caudal promedio de abastecimiento de 90 Gal/min y abastece al 20% de la flota de camiones. Solo cuenta con una sola bahía de abastecimiento. No cuenta con servicio de lubricación e inspección de llantas. Un camión cisterna con capacidad de 8,000 Gal abastece este grifo, requiere un cambio de camión cisterna cada 07 camiones abastecidos.

6.4 Anexo D: Histograma de abastecimiento de combustible por Grifo

El tiempo de abastecimiento promedio en el Grifo 4448 es de 21 minutos en promedio, en el Grifo Chancadora 4174 un promedio de 24 minutos y finalmente el Grifo Baja Ley un promedio de 24 minutos.

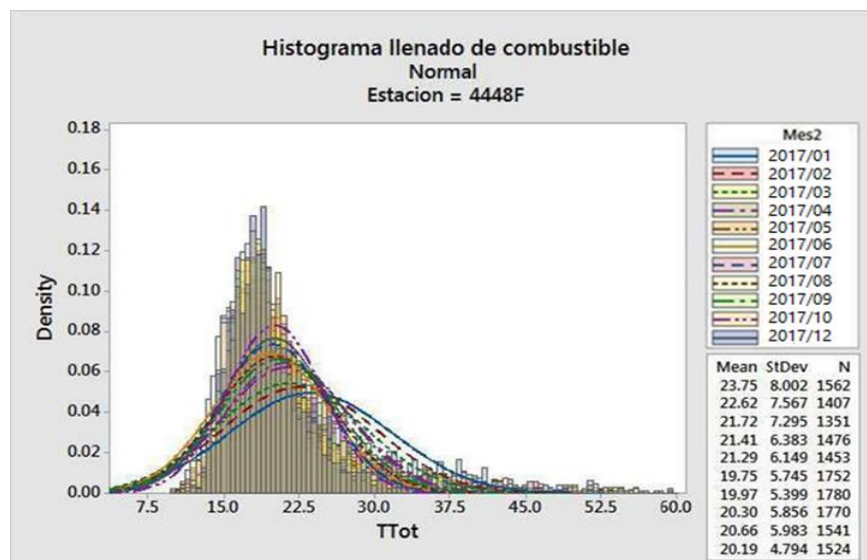


Figura 30. Histograma de Grifo 4448

(Fuente Elaboración propia).

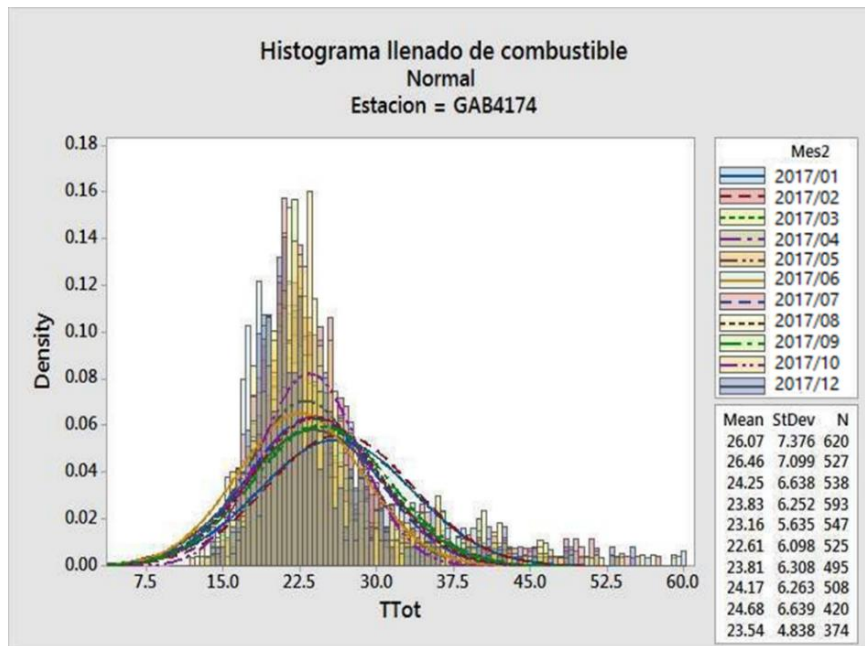


Figura 31. Histograma de Grifo Chancadora

(Fuente Elaboración propia).

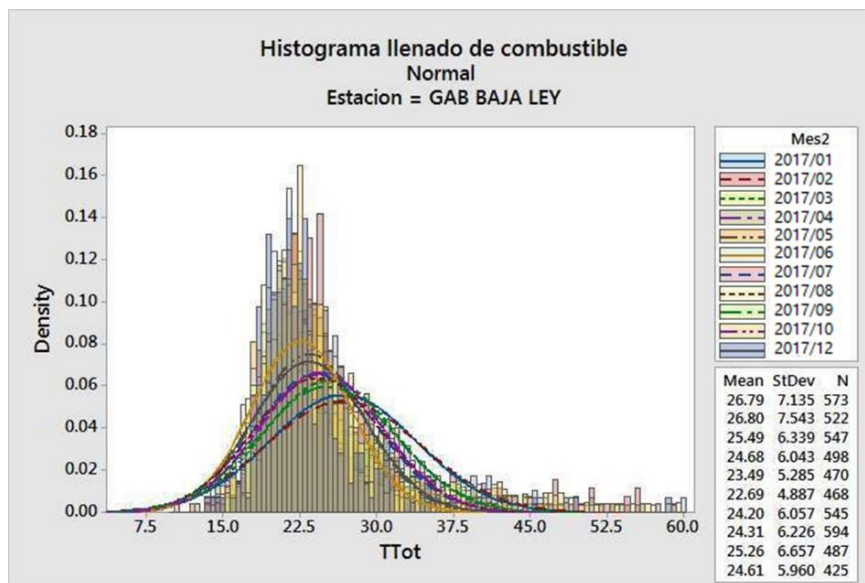


Figura 32. Histograma de Grifo Baja Ley

(Fuente Elaboración propia).