



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA IIOT PARA DISMINUIR INEFICIECIAS
OPERATIVAS DE CAMIONES DE EXTRACCIÓN**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE
EMPRESAS**

LUCCIANO VALERY SALAS SALINAS

**PROFESOR GUÍA:
IVAN BRAGA CALDERÓN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
JUAN DOMINGO VELÁSQUEZ SILVA
MARCELO ZÚÑIGA ESTAY**

**SANTIAGO DE CHILE
2020**

IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA IIOT PARA DISMINUIR INEFICIECIAS OPERATIVAS DE CAMIONES DE EXTRACCIÓN

La División Gabriela Mistral (DGM) en su proceso de minería a rajo abierto, opera con 18 camiones de extracción (CAEX) Komatsu 930 E-4 en modalidad autónomo, y 5 equipos de carguío, con sistemas de despacho FrontRunner-Dispatch respectivamente.

En la actualidad la totalidad de sensores de nivel de combustible originales de la flota de CAEX se encuentran fuera de servicio, obligando a gestionar el envío de equipos a abastecimiento de combustible por medio de algoritmos matemáticos, los cuales tienen como único objetivo evitar que los equipos se detengan por falta de combustible en terreno, dejando fuera de foco la generación de valor a través de la optimización de recursos para obtener una autonomía apropiada de los equipos. La consecuencia de no contar con un sistema confiable que indique el nivel de combustible obliga a enviar ineficientemente los camiones a abastecimiento, en desmedro de la continuidad operacional.

En el presente estudio se propone la implementación de una tecnología sensorial del tipo IIoT (Industrial Internet of Things), la cual permite entregar información en tiempo real a la sala integrada de operaciones respecto del nivel de combustible de toda la flota de camiones de extracción, posibilitando así al despachador mina gestionar el proceso de abastecimiento de combustible.

Con la tecnología propuesta se logró provisionar por evento de combustible 3.600 litros, es decir, un 80% de la capacidad del estanque. Se redujo en un 35% el tiempo total de la actividad por abastecimiento de combustible, transformando así tiempos de detención en tiempos productivos.

El beneficio del proyecto se basa en una reducción de costo operacional, ya que si bien, el gasto de la gerencia mina se mantiene, es el movimiento mina el que aumenta aproximadamente 330.000 toneladas al año, reduciendo así la razón dólar por tonelada de 3,020 a 3,004.

*Dedicado a mi madre Verónica
Por darme el ejemplo desde pequeño, y enseñarme que todo
en la vida es posible si se hace con amor y dedicación*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Corporación Nacional del Cobre por haber confiado en mí los recursos para llevar a cabo el proyecto de mejora del proceso de abastecimiento de combustible. En el momento que escribo estas palabras el sistema evaluado está siendo instalado en la flota de camiones de extracción de la división Gabriela Mistral.

También agradezco al personal de Gestión Procesos y Operaciones Mina por haberme hecho sentir parte de su equipo en todo momento, y por brindarme de manera desinteresada todo su conocimiento.

Le agradezco a mi familia y amigos por haberme acompañado y apoyado durante el nuevo proceso universitario.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1	Introducción.....	1
1.1	Acerca de la compañía.....	1
1.2	Acerca de la División Gabriela Mistral.....	1
1.3	Motivación del estudio.....	5
1.4	Objetivo general	6
1.5	Objetivos específicos	6
1.6	Hipótesis de investigación.....	7
1.7	Alcance	8
CAPITULO 2	Marco teórico	9
2.1	Automatización industrial	9
2.2	Camión de extracción Komatsu 930 E4	10
2.2.1	Camión autónomo	10
2.3	Tiempo de ciclo	10
2.4	Norma ASARCO (Codelco, 2017).....	12
2.5	Indicadores de gestión (Codelco, 2017).....	14
2.6	Capital expenditure (Capex) (Enciclopedia Financiera, 2014)	16
2.7	Operating Expenses (OPEX) (Enciclopedia Financiera, 2014)	16
2.8	Tasa de descuento (Enciclopedia Financiera, 2014)	17
2.9	Priorización de requisitos moscow (José del Sagrado).....	17
2.10	Internet de las cosas (Internet of things) (Internet Society, 2015).....	18
2.11	Valor actual neto (VAN) (Enciclopedia Financiera, 2014)	19

2.12	Tasa interna de retorno (TIR) (Enciclopedia Financiera, 2014)	20
2.13	Plazo de recuperación (payback) (Economipedia, s.f.).....	20
2.14	Retorno de la inversión (ROI) (Enciclopedia Financiera, 2014)	21
2.15	Sistema de abastecimiento de combustible	21
2.16	Innovación (Confederación empresarial de Madrid)	22
2.17	Innovación tecnológica (Confederación empresarial de Madrid)	22
2.18	Sensores ultrasónicos (Bilbao, 2018)	23
CAPITULO 3 Metodología		24
3.1	Levantamiento de información interna	24
3.2	Levantamiento de información externa	25
3.3	Organización y análisis de la información externa	26
3.4	Selección de empresa y prueba piloto (CODELCOTECH, 2018).....	26
3.5	Evaluación económica	27
CAPITULO 4 Análisis de resultados según etapa.....		29
4.1	Levantamiento de información interna	30
4.1.1	Definición del proceso a mejorar dentro de la gerencia mina	30
4.1.2	Determinación oportunidad de mejora	32
4.1.3	Proceso de abastecimiento de combustible	34
4.1.4	Problemática del proceso de abastecimiento	35
4.2	Levantamiento de información externa	36
4.2.1	Identificación de empresas	36
4.2.2	Priorización de empresas	39
4.3	Organización y análisis de la información externa	41
4.3.1	Requisitos más relevantes.....	42

4.4	Prueba piloto	44
4.4.1	Instalación del sistema	45
4.4.2	Puesta en marcha.....	48
4.4.3	Análisis de resultados prueba piloto	49
4.4.4	Validación del sensor de combustible.....	50
CAPITULO 5 Evaluación económica		52
5.1	Tiempos proceso de abastecimiento de combustible.....	52
5.2	Volumen de abastecimiento de combustible	54
5.2.1	Tiempo de abastecimiento de combustible anual.....	55
5.2.2	Tonelaje equivalente por tiempo incorporado.....	56
5.2.3	Reducción de costo	56
5.2.4	Ingreso anual por uso de tecnología.....	58
5.2.5	Inversión	59
5.2.6	Servicio de operación y mantenimiento del sistema	59
5.2.7	Cálculo de beneficio	60
CAPITULO 6 Análisis.....		63
CAPITULO 7 Conclusión		67
CAPITULO 8 Bibliografía		70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados capacidad de tratamiento según proceso unitario	31
Tabla 2. ASARCO de la flota de transporte.....	32
Tabla 3 . Priorización de MoSCoW	40
Tabla 4. Principales componentes sistema Fuel Explorer (FE)	45
Tabla 5. Desviación registro Orpak versus Fuel Explorer	52
Tabla 6. Tiempos según fase proceso de abastecimiento de combustible	53
Tabla 7. Estadística Descriptiva sistema Orpak	54
Tabla 8. Reducción número de eventos por combustible con tecnología	55
Tabla 9.Reducción tiempo por combustible con tecnología	56
Tabla 10. Gastos y costos mina desde Enero 2018 hasta Junio 2019.....	57
Tabla 11. Principales variables evaluación económica del proyecto.....	60
Tabla 12. Flujo de caja proyecto IloT	61
Tabla 13. Equipo empresa Tekmin.....	79
Tabla 14. Venta, instalación e implementación Tekmin	80

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Tasa de consumo y autonomía real flota CAEX	5
Gráfico 2. Capacidad de tratamiento material según proceso unitario	31
Gráfico 3. Comparación sistema de medición volumétrico Orpak versus Fuel Explorer	51
Gráfico 4. Desviación dentre ambos sistemas de medición	51
Gráfico 5. Histograma abastecimiento de combustible año 2017.....	54

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación de la División Gabriela Mistral, Codelco	2
Ilustración 2. Proceso minero-metalúrgico de la División Gabriela Mistral, Codelco	3
Ilustración 3 Distribución tiempo de ciclo flota CAEX	11
Ilustración 4. Distribución de tiempos según norma ASARCO	12
Ilustración 5 Árbol de decisión norma ASARCO Codelco Chile	14
Ilustración 6. Sistema de medición empresa TARCO	37
Ilustración 7. Sistema de medición empresa AikoLogic	38

Ilustración 8. Sistema de medición empresa Tekmin	39
Ilustración 9. A la izquierda sensor de nivel de combustible ultrasónico, a la derecha el sensor protegido por estructura metálica de contención	44
Ilustración 10. Principales zonas de trabajo para la instalación del sistema FE	46
Ilustración 11. A la izquierda se observa la medición debajo del estanque, y a la derecha la medición lateral	47
Ilustración 12. A la izquierda se observa la antena de transmisión sobre la cabina del camión, a la derecha la unidad electrónica montada dentro de la cabina	47
Ilustración 13. A la izquierda se observa el primer sensor instalado sin protección, y a la derecha el segundo sensor con la estructura metálica incorporada.....	48
Ilustración 14. Despliegue general de plataforma en línea del sistema FE	49
Ilustración 15. Comportamiento instantáneo del nivel de combustible del CAEX 10.....	49
Ilustración 16. Simulación del comportamiento ideal respecto al abastecimiento de combustible	50

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tiempo de ciclo flota CAEX según desglose Komatsu	11
Ecuación 2 Disponibilidad Física.....	14
Ecuación 3 Factor Operacional	15
Ecuación 4 Utilización Operativa.....	15
Ecuación 5 Utilización Efectiva.....	15
Ecuación 6 Horas Efectivas.....	15
Ecuación 7 Rendimiento Operativo	16
Ecuación 8 Rendimiento Efectivo.....	16
Ecuación 9. Valor Actual neto	19
Ecuación 10. Tasa interna de retorno	20
Ecuación 11 . Cálculo de plazo de recuperación.....	20
Ecuación 12 . Cálculo del retorno de la inversión.....	21
Ecuación 13. Capacidad según proceso	31
Ecuación 14. Cálculo de siguiente horario de abastecimiento	34
Ecuación 15. Porcentaje de desviación entre ambos sensores de medición	52
Ecuación 16. Cálculo tiempo promedio abastecimiento combustible	53

Ecuación 17. Cálculo de nuevo número de eventos por combustible	55
Ecuación 18. Cálculo de tiempo total de combustible con la tecnología	56
Ecuación 19. Cálculo de tonelaje equivalente incorporado	56
Ecuación 20. Cálculo del Costo Mina.....	57
Ecuación 21. Costo Mina Divisional sin tecnología	57
Ecuación 22. Costo Mina Divisional con tecnología	58
Ecuación 23. Cálculo de reducción del costo mina con tecnología	58
Ecuación 24. Cálculo de ahorro anual mina según plan movimiento año 2020	59
Ecuación 25. Cálculo costo servicio operación y mantenimiento anual	60
Ecuación 26. Fórmula del Valor Presente Neto.....	61
Ecuación 27. Cálculo del Valor Presente Neto.....	61
Ecuación 28. Fórmula de la Tasa Interna de Retorno	61
Ecuación 29. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno	61
Ecuación 30. Fórmula de plazo de recuperación	62
Ecuación 31. Cálculo de plazo de recuperación.....	62
Ecuación 32 . Fórmula del retorno de la inversión	62
Ecuación 33. Cálculo de ROI primer año	62

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 ACERCA DE LA COMPAÑÍA

La Corporación Nacional del Cobre de Chile es una empresa estatal chilena dedicada a la explotación de minerales, rubro donde se posiciona dentro de las principales productoras de cobre de Chile y el mundo.

Codelco en Chile es la empresa que contribuye más a su economía, posee una producción promedio anual de 1,8 millones de toneladas de cobre fino, lo cual significa aproximadamente el 10% de la producción mundial.

La principal competencia respecto al mayor productor de cobre del mundo es la compañía anglo-australiana BHP Billiton, quien el año 2019 produjo 400 mil toneladas de cobre fino más que Codelco, alcanzado 1,74 millones de toneladas de producción.

Codelco, desde sus orígenes en 1971 hasta el 2019, ha generado excedentes por 116 mil millones de dólares para el Estado de Chile, a diciembre de 2019 posee 40 mil millones en activos, y 11,6 mil millones en patrimonio. El año 2019 la compañía generó 1.340 millones de dólares de excedentes, siendo 996 millones de aporte directo al fisco.

La empresa estatal emplea 16 mil personas directamente, 20 mil a través de empresas contratistas, y 33 mil bajo régimen de subcontratación, es decir, aproximadamente 70 mil personas en total.

La corporación cuenta con 8 centros de trabajo y 7 faenas, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del país, estas son: Radomiro Tomic, Chuquicamata, Gabriela Mistral, Ministro Hales, Salvador, Andina y El Teniente.

1.2 ACERCA DE LA DIVISIÓN GABRIELA MISTRAL

La mina donde se realiza el presente estudio se encuentra ubicada en la comuna de Sierra Gorda, dentro de la región de Antofagasta, a 2.670 metros sobre el nivel del mar, a 120 kilómetros al sureste de Calama.

Su ubicación en coordenadas geográficas es N -7.4120.000 y E -518.400, si se observan las cercanías del sector, es posible notar la fuerte influencia minera, teniendo como vecinos cercanos la mina Spence y El Tesoro.

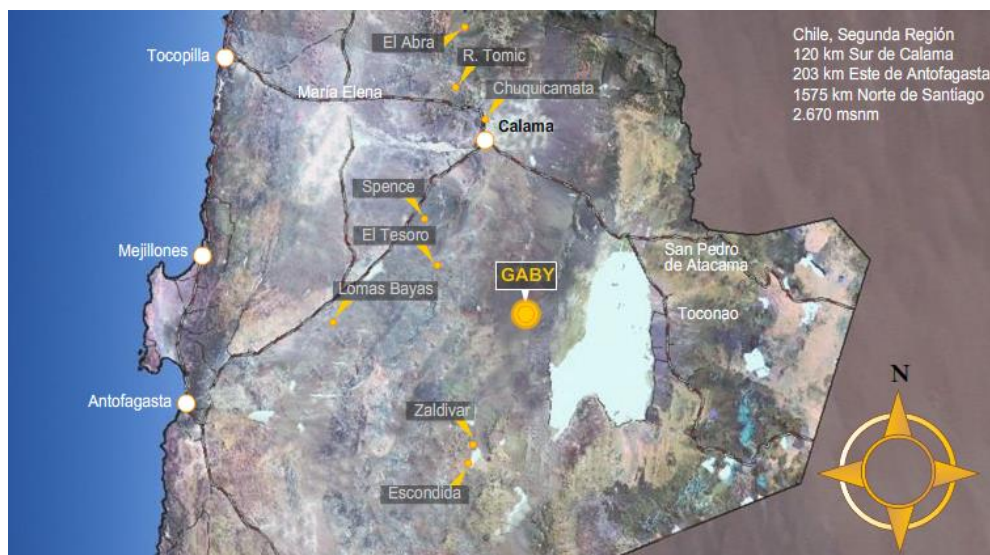


Ilustración 1. Ubicación de la División Gabriela Mistral, Codelco

División Gabriela Mistral comenzó su operación el año 2008, con una vida útil estimada de 15 años, es decir, hasta el año 2023, ahora con la ampliación de su cartera de reservas posee una vida útil hasta el año 2029. El método de explotación utilizado es a rajo abierto, con tratamiento de minerales oxidados, los cuales son procesados hasta la obtención de cátodos como producto final.

La ilustración número 2 muestra el proceso general de la faena, donde en algunos sectores del proceso unitario el sistema posee 3 líneas, las cuales pueden funcionar de manera independiente unas de otras.

La línea productiva de la división es la siguiente:

- Procesos Mina: Perforación, tronadura, carguío y transporte.
- Procesos Chancado: Chancado primario, secundario y terciario.
- Proceso Planta: Tambores de acidificación, pilas de lixiviación, planta EW/SX.

En las pilas de lixiviación se utiliza el método de extracción por solvente para obtener las sustancias objetivo. Para el proceso de extracción de cobre se utiliza una resina orgánica la cual se encuentra diluida en parafina. La resina orgánica permite capturar las partículas

de cobre de la solución generada en las pilas de lixiviación, dejando todas las impurezas de lado, tales como, hierro, aluminio, manganeso, entre otros. La solución cargada de cobre es enviada a la planta de electro obtención.

El proceso de electro obtención es realizado dentro de una nave, en la cual se realiza la transformación electroquímica del cobre disuelto en un electrolito acuoso, el cual contiene CuSO_4 y H_2SO_4 disueltos, el proceso utiliza energía eléctrica desde una fuente externa.

La División Gabriela Mistral es especial dentro de Codelco, ya que es una de las pocas divisiones que sólo genera productos finales para ser transados en la bolsa, es por este motivo que fue seleccionada por la Corporación para realizar un proyecto de trazabilidad, llamado cobre verde, el cual tiene por objetivo premiar en la bolsa el cobre generado a través de un proceso trazables y de baja huella de carbono.

La presente tesis se encuentra en línea con el proyecto cobre verde de la corporación, ya que su objetivo es optimizar el proceso de abastecimiento de combustible, a través de un aumento en la eficiencia de consumo, es decir, producir el mismo volumen de cobre a una menor tasa de consumo de combustible.

El cátodo generado por la división en las bolsas internacionales es premiado por ser trazable, de bajo impacto ambiental y sustentable, además de contar con la línea completa de producción inmersa en su negocio.

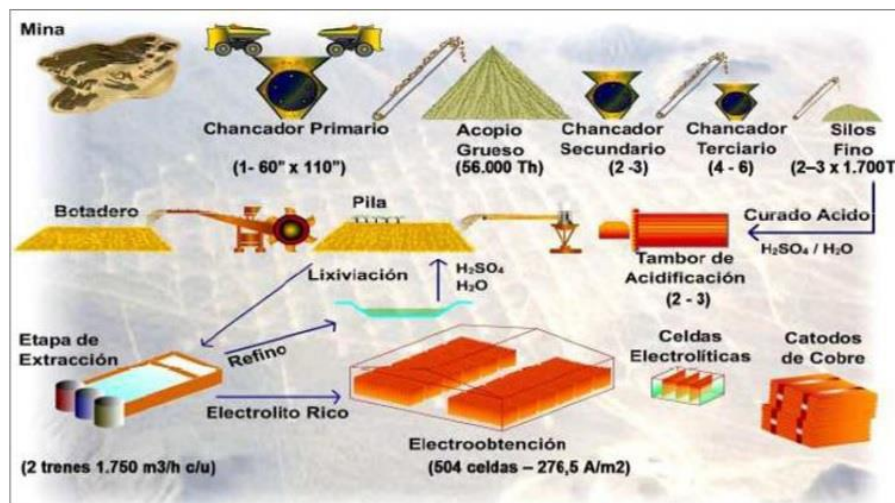


Ilustración 2. Proceso minero-metalúrgico de la División Gabriela Mistral, Codelco

La geología del yacimiento corresponde al tipo pórfido cuprífera, ubicado en la cordillera de Domeyko, forma parte de la franja metalogénica oligocena, la cual contiene otros yacimientos como Chuquicamata, Collahuasi y Escondida. La zona de mayor interés económico se encuentra bajo una capa de 45 metros de material estéril, conformando un cuerpo total de 200 metros de potencia, con 2,2 kilómetros de largo y 1,5 de ancho.

Los minerales que se encuentra en mayor proporción son óxido de cobre, tales como la crisocola, arcillas con cobre, atacamita y óxidos negros. Además, es posible observar en áreas puntuales malaquita, cuprita, tenorita y cobre nativo. La mineralización de cobre se presenta de dos maneras distintas, a través de fracturas y de manera diseminada.

La minera posee características propias que la hacen especial dentro de Chile, es pionera en el sistema de gestión respecto de la inclusión de género y conciliación de vida familiar, logrando un 20% de participación femenina en su dotación, además es la primera minera del mundo en realizar el transporte de material mina utilizando sólo camiones de extracción autónomos, es decir, utilizando equipos no tripulados los cuales cumplen su función a través de una serie de algoritmos que toman decisiones productivas.

La ley media de cobre que posee es baja, alcanzando el año 2019 un 0,35% promedio, lo cual la convierte en un negocio de poco margen, por lo que requiere un control preciso de costos y producción.

La mina posee una flota de 18 camiones de extracción Komatsu 930 E-4 en su modalidad autónoma. A continuación se presenta el listado total de equipos que posee la gerencia mina:

- Equipos de carguío:
 - 2 palas de cable eléctrica Bucyrus 495HR, con capacidad nominal de 73 yd³.
 - 1 pala hidráulica Komatsu PC8000, con capacidad nominal de 54 yd³.
 - 2 cargadores frontales L-1850, con capacidad nominal de 31 yd³.
- Equipos de perforación:
 - 2 perforadoras eléctricas Bucyrus 49HR.
 - 1 perforadora diésel Bucyrus 39HR.
- Equipos de apoyo:
 - 5 tractores oruga Komatsu D375A-5.
 - 3 tractores neumáticos Komatsu WD600-6.
 - 3 motoniveladoras Komatsu GD825A-2.
 - 3 camiones regadores Komatsu.

1.3 MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO

El desafío del estudio se enmarca en la operación unitaria de transporte de material en la mina rajo abierto de División Gabriela Mistral.

Actualmente, el abastecimiento de combustible es gestionado a través de algoritmos matemáticos los cuales sólo tienen por objetivo evitar que los camiones de extracción se detengan por falta de combustible.

Los algoritmos utilizados operan en base a una tasa de consumo horario constante de 200 litros, la cual se encuentra sobre estimada, ya que la real tasa es aproximadamente 150 litros, lo anterior reduce la autonomía de los equipos de 24 a 18 horas, provocando finalmente una frecuencia de llenado de combustible por sobre la necesaria. El impacto económico de la ineficiencia detectada es de 998 mil dólares anuales.

A continuación, es posible observar la tasa de consumo y autonomía real de la flota de CAEX que son 147 litros y 24.4 horas respectivamente.

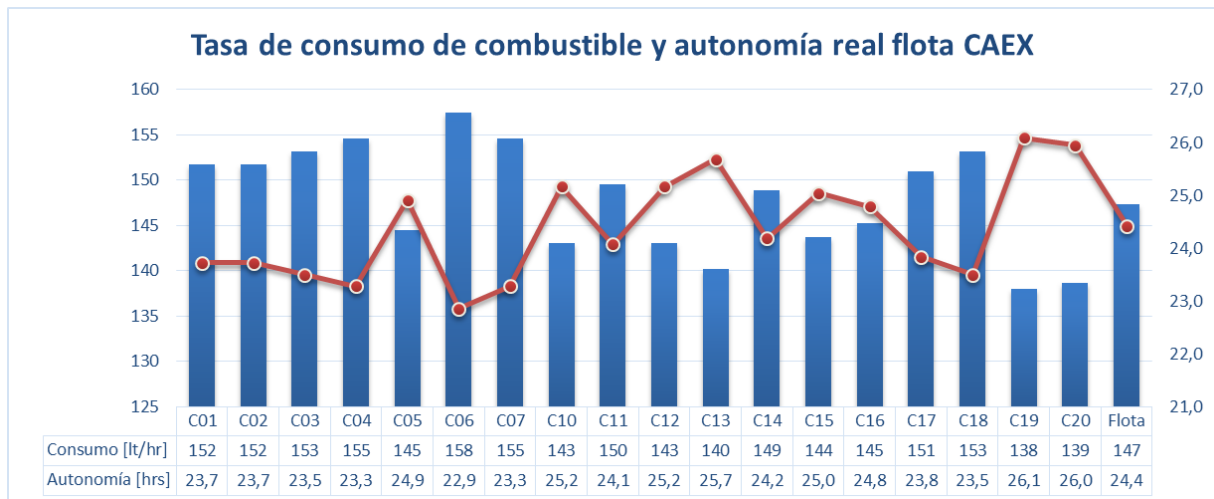


Gráfico 1. Tasa de consumo y autonomía real flota CAEX

Por lo anterior, se planteó la búsqueda, evaluación e implementación de una tecnología del tipo IIoT, la cual permita monitorear en tiempo real el nivel de combustible de la flota de camiones de extracción. La tecnología deberá otorgar mayor continuidad operacional, eliminando detenciones reiteradas de los equipos de transporte.

Actualmente los camiones de extracción poseen sistemas de medición y monitoreo de combustible, los cuales en su mayoría con el paso del tiempo se han visto dañados, principalmente debido al uso de tecnologías de llenado rápido de combustible.

El hecho que los camiones de extracción sean autónomos ha significado dejar de lado la mantención mecánica de todos aquellos sensores que sólo desplieguen sus resultados en cabina.

1.4 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente estudio es proponer una alternativa viable, desde el punto de vista tanto técnico como económico, que permita aumentar el uso efectivo de la flota de camiones de extracción, esto a través de la disminución de detenciones por concepto de abastecimiento de combustible.

Dicha disminución de detenciones debe ser lograda por medio del mejoramiento del sistema de gestión de abastecimiento, el cual debe permitir aumentar la autonomía energética de los activos de transporte.

Por lo tanto, el estudio debe plantear, evaluar y comprobar, una solución que permita capturar oportunidades de mejora del proceso de combustible a través del uso de nuevas tecnologías sensoriales del tipo IIoT.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para lograr el objetivo general de la presente tesis, se busca cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Identificar el proceso de la cadena de valor de la división donde exista mayor potencial de mejora.
- Plantear el uso de una nueva tecnología del tipo IIoT.
- Evaluar técnicamente las alternativas encontradas en el mercado.
- Comprobar efectividad de tecnología propuesta.

- Proponer el uso de tecnologías del tipo IIoT a través de la confección de una evaluación económica. La tecnología debe ser de bajo impacto capital, y de sencilla instalación.

1.6 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Planteamos que es posible mejorar el desempeño actual de un eslabón de la cadena productiva de la División Gabriela Mistral a través de la implementación de tecnología del tipo IIoT. Para ello se buscará solucionar un proceso deficiente dentro del flujo productivo de la División a través de la prueba y posterior implementación de una aplicación de esta tecnología.

La presente investigación, según sus alcances, probará que es posible con aplicaciones interés de tecnología IIoT en la industria minera, capturar valor y resolver problemas productivos con un enfoque concreto.

Se busca mostrar además que la mejora se sustentará económicamente a través de la reducción de costos del área donde será implementada. Por lo tanto, lograremos evidencia práctica de que a través de la innovación vamos a introducir modificaciones en la manera de hacer las cosas.

El contexto general para el caso, es que Gabriela Mistral busca mejorar la continuidad de marcha de su flota de camiones de extracción, a través de la innovación, ya que, actualmente cuenta con la información que permiten salir a buscar al mercado soluciones recientes que faculten innovar en sus procesos.

La solución planteada en base a la tecnología sugerida consiste en sensores de ultrasonido los cuales miden el nivel de combustible de los camiones de extracción en tiempo real, transmitiendo una señal digital a través de redes de comunicación hacia la central autónoma, desde donde la información es recibida y analizada, para luego entregar como resultado una gestión más eficiente del proceso de abastecimiento de combustible.

1.7 ALCANCE

El alcance de la presente tesis es generar una propuesta concreta que genere beneficios y produzca valor a partir de la implementación de una solución basada en tecnología del tipo IIoT, la cual permita aumentar el uso efectivo de la flota de transporte de material de la División Gabriela Mistral.

Previo a la presente tesis se realizó un estudio de detección de oportunidades de mejora dentro de los procesos productivos de la mina, siendo el abastecimiento de combustible el foco a mejorar.

La presente tesis toma la oportunidad generada por el área de innovación en conjunto con la gerencia de operaciones, las cuales en conjunto declararon la importancia de realizar pruebas piloto utilizando nuevas tecnologías.

La solución planteada debe cumplir con:

- Aumentar el uso efectivo de la flota de camiones de extracción, mejorando el proceso de abastecimiento de combustible.
- Ser de bajo impacto mecánico en los activos para una instalación sencilla.
- No requerir grandes volúmenes de capital para su adquisición y operación.

Es importante mencionar que el presente estudio no busca aumentar la producción de cobre fino de la división, sino que busca reducir sus costos, a través de un uso más eficiente de sus activos.

A través de la implementación analizada se busca utilizar de mejor manera los recursos disponibles en la gerencia mina, lo cual se traduce en una reducción de costos más que en un aumento de producción de cobre fino.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La automatización de los procesos industriales constituye uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de la búsqueda de la competitividad en un entorno cambiante y agresivo. La automatización de un proceso industrial (máquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. Dicho automatismo, en general ha de ser capaz de reaccionar frente a las situaciones previstas de antemano y además frente a imponderables, tener como objetivo situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable.

Históricamente, los objetivos de la automatización han sido el procurar la reducción de costes de fabricación, una calidad constante en los medios de producción, y liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres (Moreno).

En el caso particular del presente estudio, se enfrenta la diferencia entre un camión de extracción autónomo versus uno convencional, el primero no posee un operador que defina los destinos de movilización, ni tampoco está tomando decisiones en el corto plazo, todo aquello es centralizado en el software FrontRunner-Dispatch, el cual a través de un conjunto de sensores y algoritmos va generando la acción inmediata de los camiones de extracción.

Con el paso del tiempo cada vez más procesos productivos hechos por humanos serán sustituidos por máquinas, reduciendo gastos y variabilidad, lo anterior, aumentará los márgenes de ganancia, los cuales permitirán a las empresas elevar su inversión en procesos tecnológicos, máquinas o herramientas automatizadas, las que finalmente acelerarán aún más los procesos de producción.

2.2 CAMIÓN DE EXTRACCIÓN KOMATSU 930 E4

El camión de extracción utilizado en la División Gabriela Mistral es el Komatsu 930 E4, el cual cuenta con un motor diésel de 18 cilindros que provee una potencia neta al volante de 2.495 kW o 3.346 hp.

El motor diésel acciona un alternador en línea, el cual produce corriente AC la cual es rectificadora a DC dentro del gabinete de control principal. Luego la energía DC vuelve a convertirse en AC a través de dispositivos inversores. Las ruedas motorizadas utilizan motores de inducción AC trifásicos con energía AC de onda total.

El camión Komatsu 930 E4 es el más utilizado actualmente debido a que presenta el mejor match pala – camión con las palas eléctricas 495 HR, ya que logra su capacidad de diseño respecto a su carga en el tercer pase operativo de la pala, es decir, con 3 baldadas colmadas de material, el camión logra su capacidad de diseño de 300 toneladas.

2.2.1 CAMIÓN AUTÓNOMO

Equipo que realiza su función de diseño a través de un sistema computacional que trabaja en colaboración con sistemas de navegación utilizando la más avanzada tecnología en GPS, hardware, software, y de comunicación existente, con el objetivo de lograr movimientos dentro de puntos de carguío y descarga de materiales, sin la participación de un operador (IM2, 2016).

2.3 TIEMPO DE CICLO

Los CAEX autónomos al igual que los convencionales poseen un tiempo de ciclo marcado por las diferentes interacciones que existen dentro del rajo, sólo existe diferencia respecto a la trazabilidad de la información.

En un sistema autónomo el desglose de tiempos es trazable, y sin riesgo de poseer errores, ya que el sistema convencional en algunas partes del ciclo del CAEX requiere la interacción humana para iniciar y/o terminar ciertas categorías de tiempo.

A continuación, se presenta la ecuación y desglose del tiempo de ciclo de los camiones según el sistema de desglose de tiempos que provee Komatsu Modular a la División Gabriela Mistral.

$$T_c = T_{cc} + T_{ac} + T_c + T_{vc} + T_{cd} + T_{ad} + T_d + T_{vv}$$

Ecuación 1. Tiempo de ciclo flota CAEX según desglose proveedora del sistema autónomo Komatsu

Donde:

- T_c : Tiempo de ciclo de transporte.
- T_{cc} : Tiempo de cola en carga.
- T_{ac} : Tiempo de acuatamiento en carga.
- T_c : Tiempo de carga.
- T_{vc} : Tiempo de viaje cargado.
- T_{cd} : Tiempo de cola en descarga.
- T_{ad} : Tiempo de acuatamiento en descarga.
- T_d : Tiempo de descarga.
- T_{vv} : Tiempo de viaje vacío.

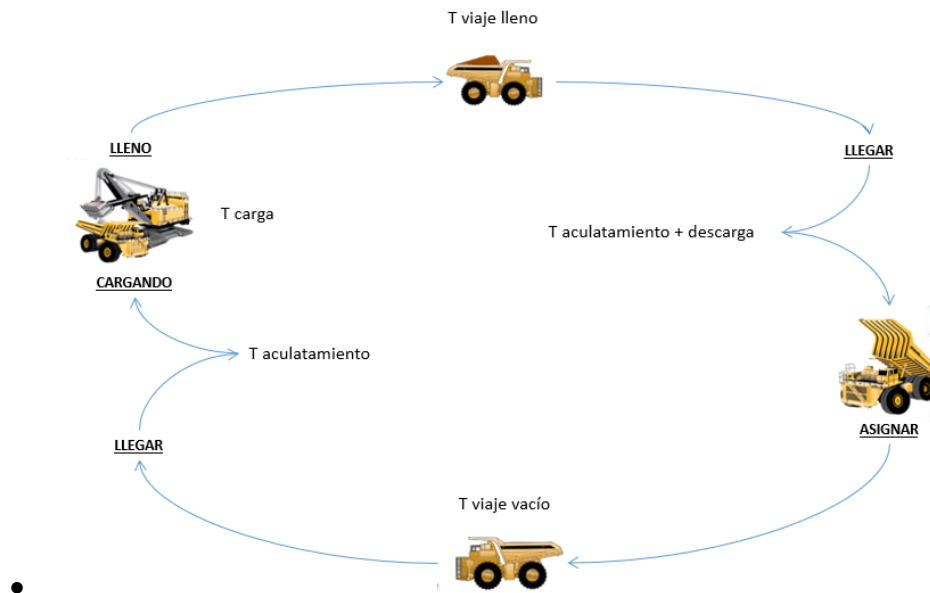


Ilustración 3 Distribución tiempo de ciclo flota CAEX

El tiempo de abastecimiento de combustible desde el punto de vista de un ciclo, por lo general está dentro del tiempo de viaje vacío, ya que a menudo se acostumbra a abastecer los camiones de extracción cuando no se encuentran cargados, esto por medidas de seguridad.

Es importante mencionar que el tiempo de abastecimiento de combustible sólo está desglosado en las bases de datos como un estado, es decir, somos capaces de medir el tiempo en que un equipo se encuentra en proceso de abastecimiento desde que el equipo desvía su trayectoria hacia los lugares de abastecimiento.

El desglose según tiempo de ciclo no hace diferencia en los diferentes estados en los que se encuentran los equipos, ya que sólo remueve o agrega tiempo a los 9 tipos de tiempo que posee el ciclo según la base de datos de Komatsu Modular.

2.4 NORMA ASARCO (CODELCO, 2017)

La norma ASARCO (American Smelting & Refining Co) es utilizada para describir más en detalle el estado de los activos en todo momento, ya que entrega el marco de referencia para poder definir que eventos ocurren en un equipo, con la correspondiente distribución de sus tiempos.

A continuación se presenta la tabla de tiempos señalada anteriormente ajustada a las necesidades de Codelco.



Ilustración 4. Distribución de tiempos según norma ASARCO

Tiempo nominal: Es el tiempo total correspondiente al año calendario, es decir, no es una categoría de tiempos gestionable, ya que sólo obedece a la constante física del paso del tiempo. Ejemplo, el tiempo nominal en horas de un equipo en un día es de 24 horas, en un año 8760.

Tiempo disponible: Es todo aquel tiempo en que un equipo esta con plena capacidad para ser utilizado tanto mecánica como eléctricamente. Ejemplo, el tiempo disponible en un día de un CAEX que estuvo en mantenimiento 4 horas es de 20 horas.

Tiempo fuera de servicio: Es aquel en que el equipo no se encuentra habilitado para desarrollar sus actividades rutinarias debido a problemas mecánicos y/o eléctricos, se divide en programados y no programados, donde los primeros obedecen a chequeos y reparaciones planificadas, mientras que los segundos obedecen a fallas repentinas.

Tiempo operativo: Es todo aquel tiempo en que un equipo se encuentra en las condiciones electromecánicas requeridas, y además posee una tarea asignada, es decir, es requerida su operación.

Tiempo de reserva: Es todo aquel tiempo en que un equipo se encuentra en las condiciones electromecánicas requeridas, pero no se requiere de él por planificación o por algún motivo inesperado. Ejemplo, los CAEX pueden estar habilitados para operar pero se encuentran detenidos debido a falta de operadores, condiciones climáticas, sismos, etc.

Tiempo efectivo: Es aquel en que un equipo se encuentra habilitado para cumplir con la operación para la cual fue diseñado, posee una tarea asignada y además la está logrando realizar. Este es el verdadero tiempo que aporta valor a las compañías, y es el foco del presente estudio.

Pérdida operacional: Tiempo en que un equipo se encuentra habilitado para cumplir con la operación por la cual fue diseñado, pero no puede ejecutarla debido a ineficiencias propias del ciclo que las rodea. Ejemplo, un camión de extracción en cola esperando ser cargado por un equipo de carguío.

Demora: Tiempo en que un equipo se encuentra habilitado para cumplir con la operación por la cual fue diseñado, con una tarea asignada, pero que no se logra realizar debido a

cualquier motivo que no haya sido definido como pérdida operacional. Ejemplo, normalmente el tiempo por abastecimiento de combustible es una demora.

A continuación se presenta un árbol de decisiones que permite categorizar los estados de tiempo según la norma ASARCO.

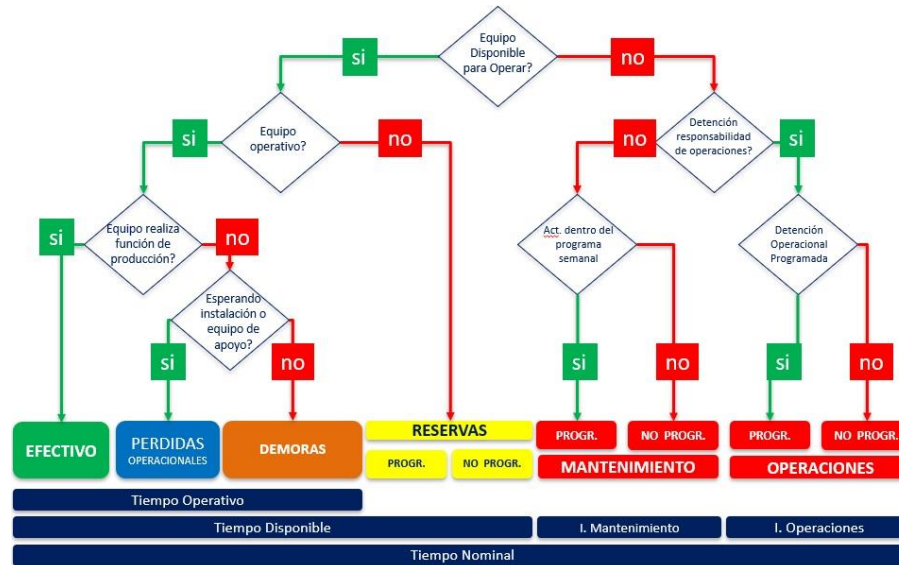


Ilustración 5 Árbol de decisión norma ASARCO Codelco Chile

2.5 INDICADORES DE GESTIÓN (CODELCO, 2017)

Para medir la eficiencia de los procesos de la gerencia mina son utilizados una serie de indicadores los cuales permiten determinar las oportunidades de mejora dentro del proceso mina.

El conjunto de tiempos determinados según la norma ASARCO permite generar y calcular una serie de indicadores de rendimiento llamado Key Performance Index (KPI).

Disponibilidad física: Mide el porcentaje del tiempo en que un equipo se encuentra en condiciones electromecánicas adecuadas respecto al tiempo nominal.

$$DF [\%] = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo nominal}} \times 100$$

Ecuación 2 Disponibilidad Física

Factor operacional: Corresponde al porcentaje de tiempo en donde el activo se encuentra ejecutando su labor de diseño, es decir, está generando valor.

$$FO [\%] = \frac{\text{Tiempo efectivo}}{\text{Tiempo operativo}} \times 100$$

Ecuación 3 Factor Operacional

Utilización operativa: Es el porcentaje de tiempo en que el equipo además de estar en las condiciones electromecánicas adecuadas posee una tarea asignada, es decir, se requiere de su uso.

$$UO [\%] = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo disponible}} \times 100$$

Ecuación 4 Utilización Operativa

Utilización efectiva: Mide la razón de tiempo que genera valor un activo cuando este se encuentra en las condiciones electro mecánicas adecuadas. Es el principal indicador para la gerencia mina ya que presenta la gestión que se está realizando en torno a las demoras, pérdidas operacionales y reservas.

$$UEBD [\%] = \frac{\text{Tiempo efectivo}}{\text{Tiempo dispnible}} \times 100 = FO * UO$$

Ecuación 5 Utilización Efectiva

Horas efectivas: Tiempo total en que un activo se encuentra generando valor al ejecutar su actividad de diseño en un día nominal.

$$\text{Hrs efectivas [horas]} = 24 \times DF \times FO \times UO$$

Ecuación 6 Horas Efectivas

Rendimiento operativo: Mide la razón de movimiento respecto del tiempo operativo, es decir, mide la gestión que se realiza respecto de los tiempos de reserva.

$$\text{ROP [ton/hop]} = \frac{\text{Material movido}}{\text{Tiempo operativo}}$$

Ecuación 7 Rendimiento Operativo

Rendimiento efectivo: Mide la razón de movimiento respecto del tiempo efectivo, es decir, mide la gestión que se realiza respecto los tiempos de reserva, pérdida operacional y demora.

$$\text{REF [ton/hef]} = \frac{\text{Material movido}}{\text{Tiempo Efectivo}}$$

Ecuación 8 Rendimiento Efectivo

Para poner en contexto lo anterior, el presente estudio al buscar reducir el tiempo de abastecimiento de combustible tiene por objetivo reducir demoras, es decir, aumentar el uso efectivo de la flota de camiones. El uso de la nueva tecnología IloT transformará tiempos de demora en tiempo efectivo.

2.6 CAPITAL EXPENDITURE (CAPEX) (ENCICLOPEDIA FINANCIERA, 2014)

El CAPEX se refiere a todos aquellos gastos de capital efectuados para adquirir o mejorar diferentes procesos productivos, con el objetivo final de aumentar la capacidad y eficiencia de la cadena de valor productiva de una empresa.

En el presente estudio por políticas estratégicas de Codelco se considera CAPEX todas aquellas adquisiciones que superen cierto volumen de dólares, las cuales tengan por objetivo adquisición de componentes reparados o nuevos. También es posible considerar CAPEX la renovación y/o reparación de ciertos componentes mayores de activos principales.

2.7 OPERATING EXPENSES (OPEX) (ENCICLOPEDIA FINANCIERA, 2014)

El OPEX hace referencia a todos aquellos gastos que son continuos, y que deben ser efectuados para mantener la continuidad operacional.

Si lo llevamos al caso de una faena minera, son principalmente todos aquellos gastos realizados para hacer el mantenimiento de activos y adquisición de consumibles, tales como ácido, combustible, etc.

En el presente estudio se considera el gasto fijo mensual del servicio planteado como OPEX, ya que considera la mano de obra, supervisión, operación y materiales de consumo.

2.8 TASA DE DESCUENTO (ENCICLOPEDIA FINANCIERA, 2014)

La tasa de descuento es aquella utilizada para descontar los flujos futuros efectivos a través de la técnica del valor presente neto. El valor utilizado como tasa de descuento variará según país y empresa.

Para el presente estudio se utilizará la tasa de descuento corporativa del área de innovación de Codelco, donde todos los proyectos son evaluados al 8%.

2.9 PRIORIZACIÓN DE REQUISITOS MOSCOW (JOSÉ DEL SAGRADO)

La técnica de priorización MoSCoW se utiliza para la gestión del alcance de nuevas tecnologías. MoSCoW es una combinación de las primeras letras de: Debe tener (must have), debería tener (should have), podría tener (could have), y no tendrá (would not have).

M (must have), que significa debe tener, son todos aquellos requisitos que tiene que estar implementando en la versión final del producto, para que de esta forma la misma pueda ser considerada un éxito.

S (should have), que significa debería tener, son todos aquellos requisitos de alta prioridad que en la medida de lo posible debería estar incluido en el prototipo final, pero que llegado el momento si es necesario, podría ser prescindible si hubiese alguna causa que lo justifique.

C (could have), que significa podría tener, son aquellos requisitos deseables pero no netamente necesarios, entonces son todas aquellas necesidades que se podrían solucionar si existiese presupuesto y temporalidad de proyecto.

W (won't have), que significa no tendrá, son aquellos requisitos que se encuentran descartados en la solución ofrecida, pero que en el futuro podrían existir y ser reclasificados en otra categoría.

Con el método de MoSCoW es posible priorizar entre proveedores, los cuales entregarán un producto mínimo aceptable si sólo cumple con la "M", aceptable si cumple con la M y S, y el producto ideal si logra cumplir con la M, S y C.

La técnica de priorización MoSCoW es una buena manera de enfocarse en el valor del negocio analizado, ya que permite centrarse en las necesidades reales, en lugar de las características ideales que podría tener pero que no son netamente necesarias.

2.10 INTERNET DE LAS COSAS (INTERNET OF THINGS) (INTERNET SOCIETY, 2015)

El término Internet de las cosas se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana.

La reciente confluencia de diferentes tendencias del mercado tecnológico está permitiendo que la internet de las cosas esté cada vez más cerca de ser una realidad generalizada. Estas tendencias incluyen la conectividad omnipresente, la adopción generalizada de redes basadas en el protocolo IP, la economía en la capacidad de cómputo, la miniaturización, los avances en el análisis de datos y el surgimiento de la computación en la nube.

Las implementaciones de la IoT utilizan diferentes modelos de conectividad, cada uno de los cuales tiene sus propias características. Los cuatro de los modelos de conectividad descritos por la Junta de Arquitectura de Internet incluyen: Device-to-Device (dispositivo

a dispositivo), Device-to-Cloud (dispositivo a la nube), Device-to-Gateway (dispositivo a puerta de enlace) y Back-End Data-Sharing (intercambio de datos a través del back-end).

La presente tesis plantea, evalúa y comprueba, el uso de una tecnología del tipo IIoT la cual permite capturar oportunidades de mejora del proceso de abastecimiento combustible, a través de la medición del nivel de petróleo de estanques, y el correspondiente envío de datos a través de una red de comunicaciones.

2.11 VALOR ACTUAL NETO (VAN) (ENCICLOPEDIA FINANCIERA, 2014)

Es un método de valoración de inversiones que puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión.

Proporciona una medida de la rentabilidad del proyecto analizado en valor absoluto, es decir, expresa la diferencia entre el valor actualizado de las unidades monetarias cobradas y pagadas.

Se define como la suma del valor presente (PV) de los flujos de efectivo individuales. En el caso de que todos los flujos futuros de efectivo sean de entrada y la única salida de dinero en efectivo es el precio de compra, el valor actual neto es simplemente el valor actual de los flujos de caja proyectados menos el precio de compra.

El VAN es una herramienta central en el descuento de flujos de caja empleado en el análisis fundamental para la valoración de empresas cotizadas en bolsa, y es un método estándar para la consideración del valor temporal del dinero a la hora de evaluar elegir entre los diferentes proyectos de inversión disponibles para una empresa a largo plazo.

La fórmula que permite calcular el VAN es:

$$VAN = \sum_{t=1}^{\text{número de periodos}} \frac{\text{Flujo de caja en periodo } t}{(1 + \text{tipo de interes})^t} - \text{Inversión Inicial}$$

Ecuación 9. Valor Actual neto

2.12 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) (ENCICLOPEDIA FINANCIERA, 2014)

Es una tasa de rendimiento utilizada en el presupuesto de capital para medir y comparar la rentabilidad de las inversiones. También se conoce como la tasa de flujo de efectivo descontado de retorno o tasa interna de retorno.

En el contexto de ahorro y préstamos a la TIR también se le conoce como la tasa de interés efectiva. El término interno se refiere al hecho de que su cálculo no incorpora factores externos. Por lo tanto, es el tipo de descuento que hace igual a cero el VAN.

La fórmula que permite calcular la TIR es:

$$\sum_{t=1}^{\text{número de periodos}} \frac{\text{Flujo de caja en periodo } t}{(1 + TIR)^t} - \text{Inversión Inicial} = 0$$

Ecuación 10. Tasa interna de retorno

2.13 PLAZO DE RECUPERACIÓN (PAYBACK) (ECONOMIPEDIA, S.F.)

El payback o plazo de recuperación es un criterio para evaluar inversiones que se define como el periodo de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión. Es un método estático para la evaluación de inversiones.

Por medio del payback sabemos el número de periodos que se tarda en recuperar el dinero desembolsado al comienzo de una inversión. Lo que es crucial a la hora de decidir si embarcarse en un proyecto o no. La fórmula que permite calcular el payback es:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ingreso anual al flujo de caja}}$$

Ecuación 11 . Cálculo de plazo de recuperación

2.14 RETORNO DE LA INVERSIÓN (ROI) (ENCICLOPEDIA FINANCIERA, 2014)

El ROI o retorno de la inversión es una medida del desempeño de un proyecto para evaluar la eficacia de una inversión o para comparar la eficacia de una serie de diferentes inversiones. Cuanto más alto sean los valores de ROI, mayor rendimiento se habrá sacado a la inversión o se sacará en un proyecto futuro.

Para el cálculo del ROI o retorno de la inversión, el beneficio de una inversión se divide por el costo de la inversión, el resultado se expresa como un porcentaje o una razón.

La fórmula que permite calcular el ROI es:

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

Ecuación 12 . Cálculo del retorno de la inversión

2.15 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE

División Gabriela Mistral se encuentra operando desde el año 2008 con camiones autónomos, debido a que los sensores de nivel de combustible de fábrica sólo despliegan su resultado en la cabina del equipo, su mantenimiento quedó fuera de foco, ya que los equipos al ser autónomos no se encuentran tripulados, como resultado de lo anterior en la actualidad la totalidad de sensores de nivel de fábrica se encuentran fuera de servicio.

A la fecha la empresa fábrica de los camiones autónomos no ha diseñado ni implementado sensores de nivel que permitan desplegar su resultado de manera remota.

En otras faenas de Chile no es necesario desplegar el nivel de combustible de manera remota, ya que los equipos son tripulados por personas, la cuales se encuentran pendientes del resultado desplegado por su sensor de nivel de combustible.

Es importante mencionar que División Gabriela Mistral, es la primera faena minera del mundo operada a través de una flota de camiones autónomos, y en la actualidad es la única en Chile, por lo que gran parte de los desafíos que enfrenta aún no tienen solución.

2.16 INNOVACIÓN (CONFEDERACIÓN EMPRESARIAL DE MADRID)

La innovación se considera como sinónimo de producir, asimilar y explorar con éxito una novedad, en las esferas económicas y sociales, de forma que aporte soluciones inéditas a los problemas y permita así responder a las necesidades de las personas y de la sociedad. Es la transformación de una idea en un producto o servicio comercializable un procedimiento de fabricación o distribución operativo, nuevo o mejorado, o un nuevo método de proporcionar un servicio social.

La palabra innovación aparece continuamente como sinónimo de progreso, de desarrollo tecnológico, de creación de empleo, de mejora de las condiciones de vida. Se habla de innovación en los ámbitos económicos (la innovación tecnológica en las empresas) y sociales (sanidad, ocio, condiciones laborales, transportes, etc).

Entonces, innovar es introducir o modificar la manera de hacer las cosas, con el objetivo de mejorar el resultado final, así, una innovación puede ser una acción, mejorar un producto antiguo, o incluso descubrir un nuevo uso para un producto ya existente.

2.17 INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (CONFEDERACIÓN EMPRESARIAL DE MADRID)

Es aquella que resulta de la primer aplicación de los conocimientos científicos y técnicos en la solución de los problemas que se plantean a los diversos sectores productivos, y que origina un cambio en los productos, en los servicios o en la propia empresa en general, introduciendo nuevos productos, procesos o servicios basados en nueva tecnología, entendiendo tecnología de una manera simple como la aplicación industrial de los descubrimientos científicos.

La innovación tecnológica se produce generalmente como consecuencia de dos factores. El primero es efecto de un incremento del conocimiento, o lo que es lo mismo, un descubrimiento que permita desarrollar nuevos productos anteriormente desconocidos, así como mejorar los sistemas de producción, de una forma efectiva y barata. Cuando estas invenciones se convierten en bienes o servicios disponibles en el mercado, se habla de innovación de productos. Cuando las innovaciones se introducen en el proceso de

producción, se habla de innovación de proceso. La segunda forma de lograr una innovación tecnológica es aplicando los conocimientos o novedades descubiertas por otros en aras de conseguir una mejora en los productos o en los procesos de la propia empresa.

2.18 SENSORES ULTRASÓNICOS (BILBAO, 2018)

Los sensores de ultrasonido tienen la función de detectar un objeto a la distancia a través de un sistema de onda sonora en la cual se mide el tiempo que transcurre la emisión de dicho sonido y la percepción del eco correspondiente la cual es la que determina la distancia a la cual se encuentra el objeto.

Uno de los enemigos que tiene este sistema de sensores de ultrasonido es el falso eco, el cual se produce cuando el objeto en donde se ha producido el eco cambia de lugar. Por ejemplo, si un intruso viene caminando cuidadosamente y el eco rebota en él, la alarma puede que espere un segundo para activarse.

Las ondas sónicas solo pueden irradiarse si existe un medio. Este medio puede ser, para el caso del ultrasonido un gas, un fluido o un material rígido. Normalmente los sensores ultrasónicos se emplean bajo presión atmosférica.

En algunos sensores ultrasónicos, el corazón de la electrónica de control es un microcontrolador como por ejemplo de la familia PIC de microchip. El procesador activa el amplificador a 100 micro segundos, donde se genera el pulso sónico. A la vez se activa un contador digital, el cual al detenerse, comprueba si este valor está dentro del valor de una distancia prefijada, y se activa la salida digital.

Es importante mencionar que el ultrasonido es una onda sonora cuya frecuencia supera el límite perceptible por el oído humano, es decir, el sonido no puede ser escuchado por las personas ya que se ubica en torno al espectro de 20 mil Hz.

CAPITULO 3 METODOLOGÍA

A continuación, se detalla brevemente cada uno de los pasos desarrollados para dar cumplimiento a los objetivos de la presente tesis. La metodología utilizada va desde el levantamiento de información interna de la División, en la cual se detecta la oportunidad de mejora dentro de la cadena de valor, hasta la generación de una evaluación económica de una alternativa de mejora sustentada con datos obtenidos a través de una prueba piloto.

3.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN INTERNA

Proceso que tiene por objetivo detectar oportunidades de mejora a través del juicio experto de áreas con necesidades. Se considera el primer filtro utilizado para discriminar entre las diferentes problemáticas existentes.

- Recopilación de información relevante respecto de las necesidades de la gerencia mina de la División Gabriela Mistral.
- Realización de entrevistas con personal técnico y de terreno para la obtención de variables a considerar en la toma de decisión sobre el tipo de tecnología que es posible implementar. Ejemplo, para el presente estudio la solución planteada debe ser de fácil instalación y remoción.
- Determinación de variables clave de la tecnología y/o servicio requerido. Ejemplo, disponibilidad, utilización efectiva, etc.

La realización de este paso es importante ya que no sólo permite determinar el tipo de problema que se va a buscar dar solución, sino que también ayuda a entender las variables culturales de la organización, técnicas y operativas que guiarán finalmente la búsqueda de tecnologías en el mercado.

Es importante mencionar que para la realización de este proceso se contó con el apoyo de CodelcoTech, brazo estratégico de innovación de Codelco, los cuales son expertos en la búsqueda de soluciones tecnológicas.

3.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EXTERNA

Una vez fue determinada el área y problemática a solucionar, se inicia el proceso de búsqueda de empresas externas capaces de entregar las respuestas y soluciones requeridas a través de sus tecnologías.

El proceso consiste en:

- Búsqueda en la web de empresas nacionales principalmente con soluciones factibles.
- Consultas a los especialistas de División Gabriela Mistral para evaluar la posible efectividad de los productos.
- Identificación y descripción de todas aquellas empresas que cumplen con los requerimientos preliminares.
- Contacto con empresas seleccionadas a través de vía telefónica y correo.
- Obtención de documentación técnica de soluciones ofrecidas por empresas externas.
- Envío de cuestionario con consultas críticas respecto de las necesidades y contratiempos que pueden ser enfrentados en División Gabriela Mistral.
- Recopilación de respuestas del cuestionario enviado a proveedores seleccionados. El cuestionario se puede encontrar en la sección de anexos.

El resultado del levantamiento es un listado con características técnicas y generales de cada una de las empresas externas que cumplen con los requerimientos y necesidades de División Gabriela Mistral planteadas en el primer paso de la presente metodología.

Si bien la solución buscada está enfocada principalmente para División Gabriela Mistral, es ideal que pueda ser utilizada de manera transversal en más divisiones de la corporación.

Los criterios definidos por Codelco para enmarcar la búsqueda de alternativas existentes son:

- La solución debe mostrar el nivel de combustible en tiempo real.
- Los sensores a ser instalados deben ser de bajo impacto mecánico sobre el estanque de combustible.

- La tecnología seleccionada debe ser de bajo impacto capital.

3.3 ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACION EXTERNA

En este paso se busca generar un informe sobre el estado del arte respecto a las necesidades planteadas, el informe debe describir la tecnología y servicio de las empresas identificadas, además de entrega una recomendación.

3.4 SELECCIÓN DE EMPRESA Y PRUEBA PILOTO (CODELCOTECH, 2018)

Con ayuda del informe del estado de arte respecto de las necesidad planteadas por la División, se selecciona a través de un comité de especialistas una de las empresas en carpeta, para que ésta pueda realizar una prueba piloto con sus productos.

El proceso de acción del comité no se encuentra estandarizado ni normado, sólo busca asegurar la efectividad de la prueba, logrando el acuerdo y trabajo en sinergia de todas las partes involucradas.

La prueba piloto consiste en entregar un fondo de 10 mil dólares a la empresa seleccionada para:

- Movilizarse a faena una cierta cantidad de veces.
- Proveer los componentes de los cuales se compone la solución propuesta.
- Instalar los sistemas ofrecidos, tanto hardware como software.
- Mantener operativos los sistemas ofrecidos el periodo de tiempo determinado por la prueba piloto.

Con los fondos mencionados la empresa seleccionada busca mantener operativa la solución que planteo un periodo de 3 meses. Es importante mencionar que una vez terminado el periodo de prueba el sistema adquirido queda en propiedad de Codelco.

El objetivo de la prueba piloto más que solo medir la eficacia del sistema adquirido también busca:

- Medir confiabilidad mecánica-electrónica de los componentes.
- Evaluar si la tecnología es capaz de resistir medios agresivos de trabajo.

- Verificar las fallas que presenta el sistema, y evaluar su gravedad.
- Obtener costos y proyecciones de servicio para generar una futura evaluación económica.

Con la prueba piloto debemos ser capaces de discernir si es posible adquirir la solución planteada, y evaluar el impacto económico que esta conlleva.

Los criterios que permiten evaluar la viabilidad de la propuesta son:

- La instalación y remoción de la alternativa debe ser llevado a cabo por procesos sencillos.
- La tecnología debe resistir al abrasivo medio minero.
- La información generada por la tecnología debe ser de calidad.

3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para implementar una nueva tecnología y levantar fondos dentro de la División, es necesario generar una evaluación económica, la cual indicará la rentabilidad del negocio. La evaluación deberá contar con los siguientes indicadores económicos: VAN, TIR, ROI, y Payback.

El proceso normal de implementación de compra y/o servicios en Codelco es guiado y liderado por áreas de Abastecimiento, pero cuando se trata de productos y/o servicios innovadores los cuales no han sido utilizados previamente en Codelco o la industria, el proceso lo lidera el área de innovación.

Entonces, debido a que el proceso es liderado por innovación, para el presente estudio es realizada una evaluación económica, siguiendo los estándares y procesos que el área líder solicita.

El área de innovación posee una consigna cuando quiere levantar fondos dentro de Codelco y se basa en los siguientes puntos:

“La propuesta de valor no debe estar basada en un aumento de producción de cobre fino, sino en una reducción de costos del área donde será implementada”.

Si se analiza la consigna, se puede entender que efectivamente una mejora dentro de un proceso puntual de una cadena de valor no debiese afectar el volumen final de producto, más bien debiese generar procesos más eficientes.

Por lo tanto, la evaluación económica generada en el presente paso se basa en la reducción del costo operacional del área donde será implementada la mejora, reduciendo así el dólar por tonelada de material tratado.

El VAN calculado obtendrá el beneficio a través de una disminución de costos operacionales.

CAPITULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS SEGÚN ETAPA

A continuación, se presentan cada uno de los resultados obtenidos a lo largo del presente trabajo. El orden y detalle de cada resultado tiene directa relación con la secuencia escogida para dar curso a la indagación.

El detalle de los resultados abarca desde el levantamiento de información interna de la División, donde se detecta la oportunidad de mejora del proceso productivo, hasta la generación de una evaluación económica, que obtiene sus principales variables e indicadores desde una aplicación piloto de la tecnología probada.

Los principales resultados se ordenan de la siguiente manera:

1. Levantamiento de información interna, donde se determina el área y tipo de problema a solucionar.
2. Levantamiento de información externa, donde se entrega información técnica y general de cada empresa que cumple con los requisitos mínimos exigidos por la División.
3. Organización y análisis de la información externa, donde es generado un documento formal que describe las diferentes tecnologías del mercado, teniendo como efecto una recomendación.
4. Selección de empresa y prueba piloto, se describe las herramientas utilizadas por el comité especialista seleccionador en el proceso de determinación de la empresa que es aprobada para prestar sus servicios en una prueba piloto.

El presente capítulo conecta la metodología con el proceso de generación de la evaluación económica, técnica que indica la rentabilidad del negocio a través de diferentes indicadores económicos, utilizando variables reales obtenidas desde una prueba piloto.

4.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN INTERNA

Se estudió la necesidad de la División Gabriela Mistral respecto a las variables más importantes que deben ser consideradas en la búsqueda e implementación de tecnologías del tipo IIoT.

4.1.1 DEFINICIÓN DEL PROCESO A MEJORAR DENTRO DE LA GERENCIA MINA

La gerencia mina de la División Gabriela Mistral posee una distribución de equipos mina tal que presenta mayor capacidad de carguío y perforación versus la de transporte, para justificar lo anterior se realizan los siguientes cálculos.

Datos:

- Rendimiento efectivo flota equipos de carguío [toneladas/horas efectivas].
 - Pala eléctrica Bucyrus 1 y 2: 6250 ton/hef.
 - Pala hidráulica Komatsu PC8000: 4500 ton/hef.
 - Cargadores frontales LeTourneau 1 y 2: 2400 ton/hef.
- Disponibilidad física flota equipos de carguío [%].
 - Pala eléctrica Bucyrus 1 y 2: 83,8%.
 - Pala hidráulica Komatsu PC8000: 83,8%.
 - Cargadores frontales LeTourneau 1 y 2: 83,8%.
- Rendimiento efectivo flota equipos de perforación [toneladas/horas efectivas].
 - Perforadora eléctrica Finning 49HR 1 y 2: 6176 ton/hef.
 - Perforadora diésel Finning 39HR: 4941 ton/hef.
- Disponibilidad física flota equipos de perforación [%].
 - Perforadora eléctrica Finning 49HR 1 y 2: 81,5%.
 - Perforadora diésel Finning 39HR: 78,9%.
- Rendimiento efectivo flota equipos de transporte [toneladas/horas efectivas].
 - Komatsu 930-E4: 620 ton/hef.
- Disponibilidad física flota equipos de transporte [%].
 - Komatsu 930-E4: 85%.

Se calcula la capacidad de tratamiento por hora de cada proceso unitario de la gerencia mina con la siguiente ecuación.

$$\text{Capacidad según proceso} = \text{Rendimiento Efectivo} \left[\frac{\text{ton}}{\text{hef}} \right] \times \text{Disponibilidad}[\%]$$

Ecuación 13. Capacidad según proceso

Pala Eléctrica Bucyrus 01	5.238
Pala Eléctrica Bucyrus 02	5.238
Pala Hidráulica Komatsu PC8000	3.771
Cargador Frontal LeTourneau 01	2.011
Cargador Frontal LeTourneau 02	2.011
Flota Carguío	18.268

Komatsu 930 E4	527
Flota transporte (18 CAEX)	9.486

Perforadora Eléctrica 49HR 01	5.034
Perforadora Eléctrica 49HR 02	5.034
Perforadora Diésel 39HR	3.899
Flota Perforación	13.966

Tabla 1. Resultados capacidad de tratamiento según proceso unitario

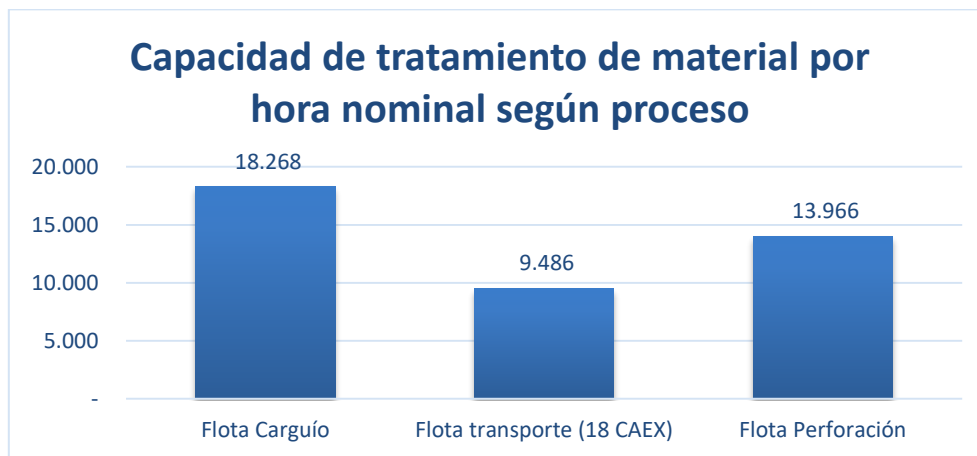


Gráfico 2. Capacidad de tratamiento material según proceso unitario

Del gráfico número 1 se puede decir que la flota de transporte es aquel que presenta una menor capacidad, y es por lo tanto, el cuello de botella de la cadena de valor de la gerencia mina. Por lo anterior, el presente estudio busca proponer e implementar una tecnología del tipo IIoT dentro del proceso unitario de transporte.

4.1.2 DETERMINACIÓN OPORTUNIDAD DE MEJORA

Para determinar el proceso interno de la gestión de la flota de transporte que se buscará mejorar con el presente estudio se desplegó la tabla ASARCO estándar utilizada por Codelco, desde donde de manera posterior se seleccionó todos aquellos tiempos que pueden ser mejorados a través del uso de nuevas tecnologías IIoT.

A continuación, se presenta la tabla ASARCO de la flota de transporte según categoría de tiempo, los datos son promedios del año 2019 según grupo minero, e indican la cantidad de tiempo que tiene en promedio cada camión según su estado.

Sólo se muestra el tiempo de ineficiencia, es decir, demora, reserva y pérdida operacional.

Categoría	Grupo	Minutos día por grupo				
		G1	G2	G3	G4	Media
Demoras	CAEX en excepción	23	25	32	27	27
	CAEX suspendido	1	14	8	10	8
	CAEX sin paso por otro CAEX en error	4	6	13	6	7
	Obstrucción de vías	16	3	30	8	14
	CAEX con ruta cerrada	12	7	9	10	10
	CAEX auto detenido	3	6	5	6	5
	Limpieza de cancha	0	1	0	5	2
	Sobrecarga o mal estibado	1	1	1	1	1
	CAEX sin curso de descarga	6	1	1	1	2
	Cambio de módulo	0	4	0	4	2
CAEX sin paso por otro CAEX	2	5	3	5	4	
Reservas	Abastecimiento de combustible	24	22	20	25	23
	Cambio de turno	4	1	3	4	3
	Falta de equipo de carguío	11	43	0	38	23
	Fuerza mayor	144	150	24	39	89
	Reunión	12	17	8	18	14
	Sin operador	25	17	32	26	25
	Stock lleno	0	0	0	0	0
	Tronadura	0	7	0	29	9
Pérdida Operacional	Cola en descarga	56	44	57	32	47
	Cola en carga	14	23	10	18	16

Tabla 2. ASARCO de la flota de transporte

Según la tabla anterior, las principales pérdidas de eficiencia de mayor a menor son:

- Fuerza mayor.
- Cola en descarga.

- CAEX en excepción.
- Sin operador.
- Falta de equipo de carguío.
- Abastecimiento de combustible.

Para determinar la variable que se buscará mejorar se utilizó el juicio experto de ingenieros de despacho, ingenieros jefes de turno y superintendentes de la gerencia mina, donde se planteó la oportunidad de implementar tecnología del tipo IIoT de bajo requerimiento de capital para mejorar una de las 6 variables anteriores

De las mesas de trabajo se determinó lo siguiente:

- Fuerza mayor: No se selecciona como variable a mejorar debido a que es una categoría de tiempo utilizada con una gran cantidad de motivos, por lo cual no queda clara la causa raíz que la provoca.
- Cola en descarga: No se selecciona como variable a mejorar debido a que la solución tiene que ver con la gestión del ingeniero de despacho y su capacidad de distribuir la descarga de camiones, sólo se considera el tiempo de cola en el chancado primario, por lo que su impacto se debe a la residencia de material en el proceso de chancado. Su solución directa está más relacionada a cambios de infraestructura de componentes mayores.
- CAEX en excepción: No se selecciona como la variable a mejorar debido a que es una pérdida de eficiencia propia del sistema autónomo, y donde la mejora debe ser solicitada directamente al proveedor del sistema, Komatsu Modular.
- Sin operador: No se selecciona como la variable a mejorar debido a que es una necesidad mayor que tiene que ver con la disponibilidad física de los equipos de carguío.
- Falta de equipo de carguío: No se selecciona como la variable a mejorar debido a que es una necesidad mayor que tiene que ver con la disponibilidad física de los equipos de carguío, lo cual no es posible solucionar de manera sencilla con el uso de tecnologías IIoT de bajo costo capital.
- Abastecimiento de combustible: Se seleccionó como la variable a mejorar debido a que el proceso de abastecimiento presenta deficiencias respecto a la generación

de datos para la toma más eficiente de decisiones. La implementación de sensores generadores de información de bajo costo capital es efectiva dada la situación que posee la División.

4.1.3 PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE

La gestión que se lleva a cabo respecto del abastecimiento de combustible se basa en el uso de un documento Excel con el cual al inicio de cada turno se estima el tiempo de autonomía promedio que debiese poseer cada camión de extracción.

Para determinar la hora de abastecimiento que requiere cada CAEX se utiliza lo siguiente:

Datos:

- Tasa de consumo de combustible por hora nominal 200 [lt/hra].
- Capacidad estanque de combustible 3600 [lt].

Cálculo de hora abastecimiento combustible:

$$\text{Horario de abastecimiento} = \frac{\text{Capacidad estanque de combustible}}{\text{Tasa de consumo de combustible}} + \text{Horario último abastecimiento}$$

Ecuación 14. Cálculo de siguiente horario de abastecimiento

Del proceso anterior es posible detectar las siguientes brechas:

- La ecuación utiliza una tasa de consumo constante e igual para todos los camiones, donde idealmente la tasa de consumo debiese ser variable y en función a: horometro del motor, pesos de material transportado, condiciones del terreno, etc. Debido a lo anterior, como capa de seguridad la metodología actual de abastecimiento sobre estima la tasa de consumo nominal.
- El consumo de combustible considera que el CAEX utiliza la misma cantidad de combustible cuando se encuentra detenido o en movimiento. Debido a lo anterior como capa de seguridad se sobre estima el consumo nominal.
- La capacidad de estanque considerada es de 3.600 litros, siendo la capacidad real de 4.500 litros, lo anterior se tomó como medida de seguridad para evitar que los CAEX quedarán detenidos en ruta por falta de combustible.

Por lo tanto, el método utilizado no sólo sobre estima la tasa de consumo de combustible, sino que también considera que los CAEX poseen un estanque de menor capacidad, lo anterior deriva en una estimación de autonomía desviada a la baja respecto a lo que ocurre en la realidad.

4.1.4 PROBLEMÁTICA DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO

Debido a que la autonomía de los camiones se encuentra desviada a la baja, la frecuencia con que se abastece la flota de camiones está por sobre lo requerido, provocando pérdidas de eficiencias por tiempos de abastecimiento de combustible innecesarios.

Es importante mencionar que los motivos por el cual se utiliza un documento Excel para gestionar el abastecimiento de combustible son:

- La mayoría de los sensores de nivel físicos de la flota de CAEX se encuentran fuera de servicio y/o no ajustados.
- No se reparan los sistemas de monitoreo de combustible originales debido a que sólo despliegan el nivel en la cabina del equipo, lo cual no es útil para la flota de la División, debido a que los CAEX utilizados son autónomos.
- Los estanques de combustible para la División Gabriela Mistral son componentes de rotación, es decir, cuando un estanque presenta un problema es reemplazado por otro sin saber necesariamente su procedencia, esto se debe a que la gestión depende de la empresa que realiza el mantenimiento de CAEX a través de un contrato MARC. Por lo anterior Codelco, ni la División es dueña del estanque.

Por lo tanto se establece que la solución a buscar en el mercado debe:

- Mostrar el nivel de combustible en tiempo real de manera remota en la central de despacho mina.
- Los sensores a ser instalados deben ser de bajo impacto mecánico sobre el estanque de combustible, y de fácil remoción, siendo posible retirar e instalar los sensores con facilidad, esto debido a la rotación de estanques donde Codelco ni la División poseen control.
- La tecnología seleccionada debe ser de bajo impacto capital, y debe ser capaz de resistir el abrasivo entorno minero.

4.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EXTERNA

Se realizó una búsqueda a través de múltiples medios de todas aquellas empresas que cuenten con productos y/o servicios los cuales tengan el potencial de dar solución a las necesidades detectadas en el levantamiento de información interna.

4.2.1 IDENTIFICACIÓN DE EMPRESAS

Con apoyo del brazo estratégico de Codelco, CodelcoTech, se realizó un levantamiento que permitió identificar todas aquellas empresas que podrían inicialmente cumplir con los requisitos entregados por División Gabriela Mistral.

En un principio se logró encontrar una gran cantidad de empresas que prestan servicios para medir el nivel de combustible, principalmente de camiones ruteros o buses urbanos, no obstante, muy pocas de ellas tuvieron la capacidad de ofrecer una solución para camiones de extracción mineros.

En primera instancia, el principal motivo de descarte de las diferentes opciones se debió a que las soluciones para medir combustible están diseñadas para estanques de estructura pequeña, propias de camiones ruteros o buses interurbanos.

Otro motivo de descarte fue que varios de los sensores convencionales no están diseñados para resistir las elevadas presiones de los actuales sistemas de llenado de combustible de los CAEX, los cuales van desde los 600 a 1300 litros por minuto.

Debido a lo anterior, el estudio se enfocó en aquellas empresas que contaran con soluciones diseñadas en específico para brindar apoyo a faenas mineras y sus camiones de transporte.

Producto de lo anterior se encontraron 3 empresas que cumplieron inicialmente con las necesidades y requerimientos de la división, TARCO, AikoLogic y Tekmin.

A continuación se entrega información general sobre las empresas identificadas, las cuales apuntan a dar solución a los requerimientos solicitados.

4.2.1.1 TARCO

Empresa que provee soluciones mineras utilizando sensores, los cuales hacen el seguimiento de variables, permitiendo al mandante controlar diferentes procesos, haciendo la adquisición y despliegue de la información en tiempo real. La empresa también entrega soluciones de automatización-integración, desarrollo y optimización de procesos.

Respecto a la solución solicitada para el presente estudio TARCO ofrece un sensor interno al estanque de combustible del camión de extracción, el cual mide la resistencia que ofrece el medio en el cual está inmerso el sensor, para finalmente desplegar el nivel de combustible.

Si se observa la ilustración siguiente, es posible apreciar que la instalación del sensor requiere perforar el estanque en su zona superior e incorporar a su estructura una fijación de sensor a lo largo de la extensión del estanque.

La tecnología permite desplegar el nivel de combustible de todos los equipos que cuenten con la tecnología instalada.

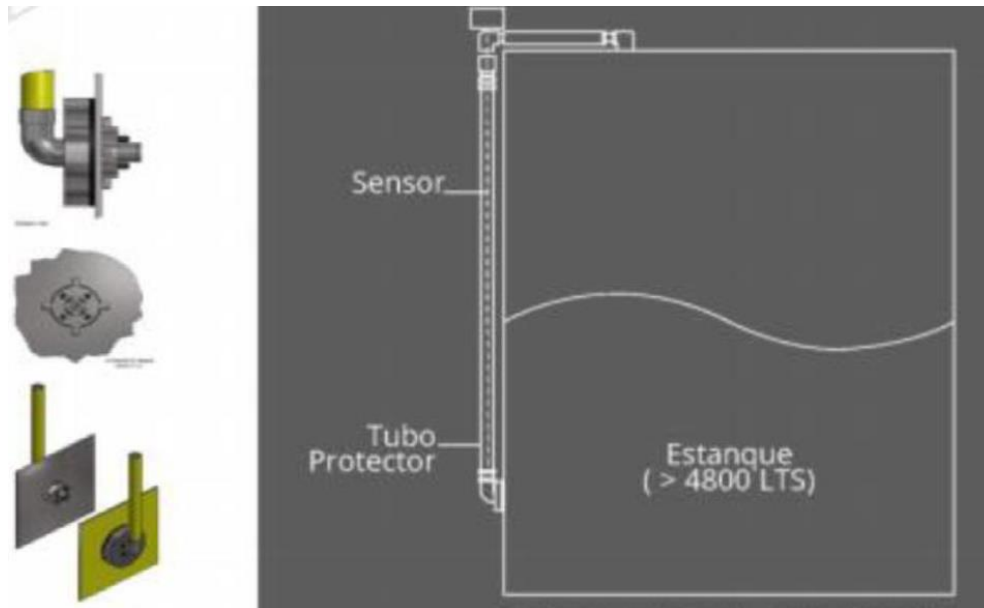


Ilustración 6. Sistema de medición empresa TARCO

4.2.1.2 AIKOLOGIC

Empresa que ofrece, además de un sistema de sensores instalado en los camiones de extracción, una plataforma de gestión de combustible. La tecnología del tipo Ilot Fuel Explorer ofrecida por AikoLogic se compone de una estructura que monitorea en línea el nivel de combustible, permitiendo visualizar en tiempo real el nivel de combustible de la flota que se encuentre equipada con su tecnología.

La principal diferencia que posee respecto de otros sensores en el mercado es el tipo de artefacto que utiliza, ya que es un sensor no invasivo que mide el nivel de combustible a través de ondas ultrasónicas.

El sensor es instalado en la base inferior del estanque, y desde ahí envía señales ultrasónicas hacia el interior, detectando el momento en que la onda cambia de medio, permitiendo así indicar el nivel de combustible en tiempo real.

AikoLogic ofrece una interfaz que permite visualizar el estado de la flota respecto al nivel de combustible en todo momento, además es capaz de integrarse al sistema Dispatch el cual es utilizado actualmente en la División para gestionar la flota de camiones.

Es importante mencionar que el sensor se adhiere en la zona exterior del estanque, sin necesidad de realzar ninguna adaptación ni modificación del estanque original. Lo anterior va en línea con el requerimiento de la División ya que debido a la alta rotación de estanques no es posible incorporar tecnologías invasivas que requieran instalaciones complejas.

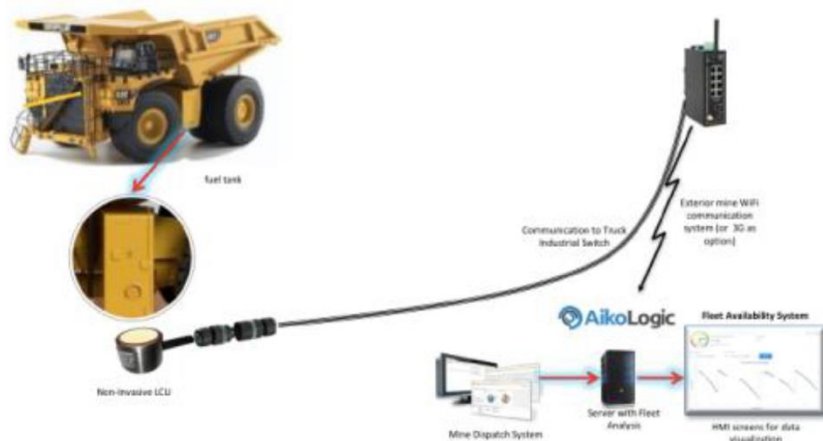


Ilustración 7. Sistema de medición empresa AikoLogic

4.2.1.3 TEKMIN

Es una empresa especializada en brindar apoyo tecnológico de procesos críticos a diferentes faenas mineras, principalmente trabaja en la integración de sistemas, estudios y consultorías.

La empresa ofrece un sistema de sensores instalado en cada camión de extracción el cual tiene la capacidad de entregar el nivel cada 5 minutos, desplegando la información en una plataforma en la cual es posible visualizar la información.

La información obtenida a través de una red de comunicaciones 3G es procesada en servidores receptáculos los cuales de manera posterior despliegan los resultados.

La plataforma ofrecida permite realizar análisis de datos históricos y descargar reportes previamente diseñados en función a las necesidades de la División.

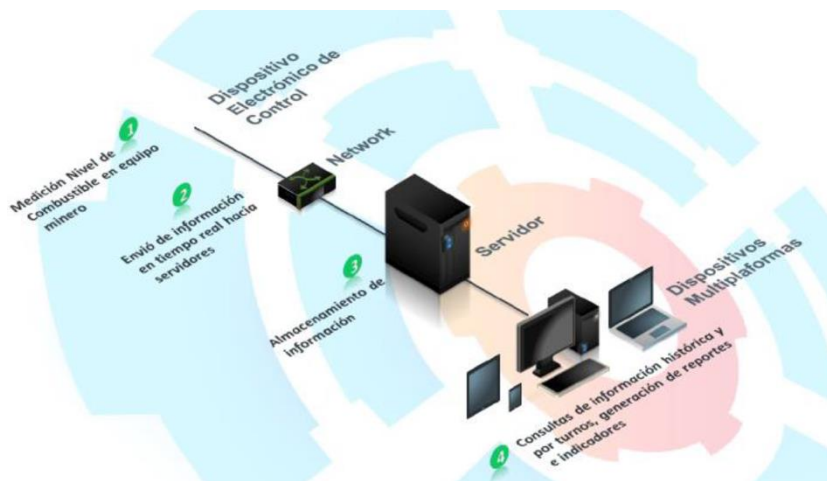


Ilustración 8. Sistema de medición empresa Tekmin

4.2.2 PRIORIZACIÓN DE EMPRESAS

Luego de haber identificado las empresas que puedan entregar una posible solución a la problemática planteada por la División se procedió a la búsqueda de información útil para discernir cual empresa es la más indicada para realizar una prueba piloto. Para lo anterior se envió un cuestionario estándar a las 3 empresas identificadas, validado previamente por el asesor técnico de CodelcoTech y División Gabriela Mistral. Las respuestas se encuentran en la sección de anexos.

En la tabla siguiente es posible apreciar los elementos más relevantes a considerar al momento de seleccionar el proveedor. Las variables consultadas fueron clasificadas de acuerdo al método de priorización de requisitos MoSCoW.

MoSCoW	Requerimiento	TARCO	AikoLogic	Tekmin
Debe tener (60%)	Requiere de intervención interna el estanque de combustible para la instalación del sensor	No cumple	Cumple	No cumple
	Está preparado el sistema para soportar llenados de alta presión a partir del tipo de sensor declarado	Cumple	Cumple	No cumple
	Cuenta la solución con tecnología compatible para la comunicación de información en faena minera	Cumple	Cumple	Cumple
	Cuenta la solución con una plataforma de visualización de los datos de la flota	Cumple	Cumple	Cumple
Debería tener (35%)	Ha sido validada la tecnología en faenas mineras específicamente en CAEX	Cumple	Cumple	No cumple
	Cuenta la empresa con una presencia en Chile y equipo de respaldo post-venta	Cumple	Cumple	Cumple
	Funcionará sin importar el polvo o humedad ambiental	Cumple	Cumple	No cumple
	Es compatible con el rango de temperaturas de DGM	Cumple	Cumple	No cumple
	Cuenta la tecnología con certificación externa	No cumple	No cumple	No cumple
	No cuenta con partes físicas que deben ser mantenidas, limpiadas o intercambiadas	No cumple	Cumple	No cumple
Podría tener (5%)	Su utilización no requiere de mantenciones periódicas	Cumple	Cumple	Cumple
	Cuenta con corrección por desnivel de camino o vibraciones	Cumple	Cumple	No cumple
	Es posible instalar el sistema durante un turno	Cumple	Cumple	Cumple
Total Ponderación		73%	94%	45%

Tabla 3 . Priorización de MoSCoW

De la tabla número 3 es posible concluir que:

- AikoLogic al cumplir con el 94% de los requerimientos planteados por el cuestionario validado por la División, es una solución que se ajusta a las necesidades. La tecnología utilizada al basarse en el ultrasonido, y no ser invasivo en su instalación, cumple con dos de los principales requisitos. Además, es relevante mencionar que el sensor cuenta con múltiples pruebas en otras faenas, ya que posee 61 camiones de extracción funcionando.

- TARCO cumple con un 73% de los requisitos, considerando la clasificación y relevancia de éstos. Sin embargo, la tecnología planteada no cumple con unos de los principales requisitos de Codelco, el cual es que no se modifique ni sea engorroso el proceso de instalación y remoción del sistema tecnológico. Además, el sensor requiere limpieza física cada 6 meses, lo cual suma tiempos de detención que son aparte de la instalación y/o remoción. La tecnología cuenta con pruebas exitosas en otras faenas mineras, por lo cual permite considerarla como una solución adecuada para el problema planteado por la División. No obstante, requiere la modificación estructural del estanque.
- Tekmin sólo cumplió con el 45% de los requerimientos, principalmente debido a la indefinición y poca información técnica entregada por el proveedor respecto del tipo de sensor propuesto.

4.3 ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXTERNA

Sólo AikoLogic cumple con prácticamente la totalidad de requisitos dados por las mesas técnicas de CodelcoTech y División Gabriela Mistral.

Dentro de las principales características y cumplimientos de la tecnología ofrecida por AikoLogic se encuentran:

- Leve intervención de la tecnología para ser instalada en los camiones de extracción, donde no es necesario realizar intervenciones mayores y/o modificaciones a las estructuras actuales. El requisito solicitado es que la solución o dispositivo encontrado no intervenga, altere o modifique la estructura física del estanque de combustible del camión.
- Permite visualizar en tiempo real el nivel de combustible de toda la flota de camiones que posea el dispositivo instalado.
- Posibilidad de incorporar la información generada por los sensores al actual sistema de despacho, el cual es utilizado para gestionar la flota de camiones.
- La mantención y renovación de componentes debe contar con procesos simples y rápidos, lo cual impacte en menor medida la disponibilidad física de los camiones.
- Poseer robustez y experiencia validada.

- Poseer representación en Chile.

4.3.1 REQUISITOS MÁS RELEVANTES

Si bien las tres empresas analizadas muestran una descripción técnica y estructura coherente con el objetivo plantado por Codelco, el cual es medir y reportar en tiempo real el nivel de combustible de camiones de extracción, son las siguientes características el motivo por el cual el presente estudio recomienda realizar la prueba piloto del producto otorgada por AikoLogic.

- Intervención del estanque:

Tanto la empresa TARCO como Tekmin ofrecen soluciones basadas en instalación de sensores dentro del estanque de combustible, lo cual implica no sólo la intervención de la estructura, sino que además procesos más complejos a la hora de intervenciones por mantención y/o reemplazo de componentes. Sólo la empresa AikoLogic plantea una solución basada en un sensor poco invasivo, el cual se adhiere a la base del estanque a través de imanes industriales, evitando así intervenir la estructura del estanque.

Debemos considerar que la División Gabriela Mistral según sus contratos considera los estanques de combustible un componente flotante e intercambiable, es decir, no es dueño del componente en sí, cada vez que un estanque requiere de una reparación mayor, este es reemplazo por otro el cual no posee un origen conocido, y donde el proveedor, en este caso Komatsu, por contrato sólo debe asegurar tener disponible en sus bodegas, reparados o nuevos, sin necesidad de indicar procedencia. Es por lo anterior, que se tiene por requisito que la solución planteada sea de fácil instalación y remoción, ya que una vez un estanque sea reemplazado, el sistema de sensores debe ser retirado del estanque que se da de baja y reinstalado en el estanque que quedará operativo.

- Mantenibilidad

Las tecnologías ofrecidas por TARCO y Tekmin al contar con pocas pruebas de sus productos no ofrecen información clara sobre el ciclo de vida de sus componentes, lo

que implica que cualquier aseveración que se haga respecto a su mantenibilidad no necesariamente es certera.

Con respecto a la empresa AikoLogic esta si posee información robusta respecto al ciclo de vida de los componentes ofrecidos, ya que al momento del presente estudio cuenta con más de 60 camiones de extracción operativos con su tecnología, entonces, se conoce en mayor profundidad el comportamiento del producto en términos de confiabilidad expuesto a entornos mineros, además, el hecho de contar con tecnología no invasiva permite reparaciones más expeditas en sus sistemas, requiriendo menor cantidad de horas para realizar una eventual reparación y/o intercambio de componentes.

- Desarrollo de la tecnología y comercialización

AikoLogic cuenta con 2 años de experiencia como proveedor de la tecnología ofrecida, la cual se encuentra implementada en una flota completa de la gran minería, bajo condiciones de entorno incluso más demandantes que las de División Gabriela Mistral.

Tekmin y TARCO sólo cuentan con un número reducido de pruebas tanto en cantidad de camiones como en ventana de tiempo de sus respectivas pruebas.

Finalmente, si bien las tres tecnologías muestran potencial de funcionamiento para dar solución a la necesidad planteada por la División, sólo AikoLogic es capaz de no intervenir el estanque de combustible, aspecto relevante según el levantamiento interno.

Por lo anterior, se escoge a AikoLogic como la empresa proveedora de la tecnología que será puesta a prueba en un piloto de 3 meses, y donde deberán intervenir sólo un camión de extracción.

Es importante mencionar que en el momento previo a la realización de la prueba piloto no se identifican patentes asociadas a la tecnología de AikoLogic, pero que al momento de escribir el presente estudio si fue gestionada y regularizada.

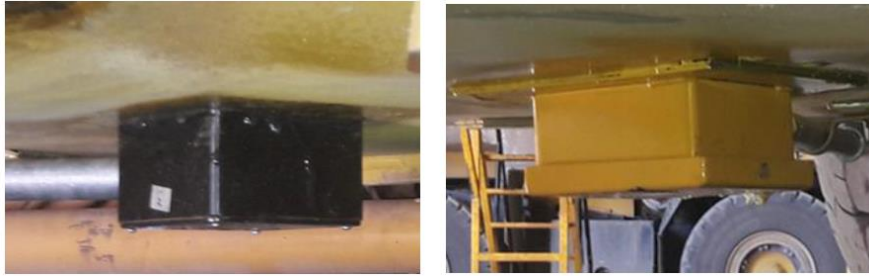


Ilustración 9. A la izquierda sensor de nivel de combustible ultrasónico adherido a la base del estanque, a la derecha se encuentra el sensor protegido por estructura metálica de contención

4.4 PRUEBA PILOTO

La prueba piloto consistió en verificar el servicio de instalación y puesta en marcha de la tecnología del tipo IIoT, llamada Fuel Explorer (FE) de la empresa AikoLogic, y validar su funcionamiento en un camión de extracción de la División Gabriela Mistral.

Respecto a los tiempos de instalación, los plazos se cumplieron, ya que la instalación del sistema demoró 6 horas, 2 menos respecto a la propuesta presentada por AikoLogic.

El alcance de la prueba piloto incluye:

- Seguimiento del proceso de instalación.
- Seguimiento de la puesta en marcha del sensor de nivel.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Generar una evaluación económica de la implementación de la tecnología en toda la flota de camiones de extracción de la División Gabriela Mistral.

Durante el proceso de instalación se realiza un seguimiento en detalle, en el cual fue posible detectar dificultades relacionadas a la robustez de la fijación mecánica del sensor ultrasónico al estanque.

Inicialmente el sensor sólo estaba adherido a la base del estanque utilizando imanes industriales, luego como mejora se añadió soldadura epóxica y una estructura metálica de protección más competente.

Ambos componentes añadidos, soldadura epóxica y estructura metálica, son de fácil remoción, por lo que el sistema continuo siendo de sencilla instalación y remoción.

4.4.1 INSTALACIÓN DEL SISTEMA

La instalación del sistema fue realizada en dos instancias distintas, ya que en la primera oportunidad si bien se consideró una instalación exitosa, los resultados entregados respecto de la lectura e interpretación de datos presentaban desviaciones. De todas formas fue en la segunda instancia cuando se logró dejar el sistema operativo.

Principales componentes del sistema:

Cantidad	Medida	Descripción
2	Unidad	Computador local de adquisición de datos (LCU). Uno de los sensores es fijado debajo del estanque y el otro es para realizar mediciones laterales, con el fin de obtener la velocidad de propagación de una señal mecánica en el combustible
1	Unidad	Caja de derivación para ser ubicada en costado del estanque. Punto de desconexión para eventuales mantenciones del estanque
1	Unidad	Unidad electrónica procesadora de datos. Esta unidad es un gabinete metálico que contiene controlador/datalogger y router 3G, que es ubicado en la cabina del equipo.
1	Unidad	Computador local de adquisición con 20 metros de cable, calibración para usos en combustible Diésel, con sistema de adosamiento temporal basado en imanes de Neodimio
2	Metros	Conduit galvanizado para canalización de cable del sensor en estanque de camión de extracción
18	Metros	Conduit flexible para canalización de cable de sensor en chasis del camión hasta Front-End de equipo Komatsu
1	Unidad	Kit de ferretería de instalación y protección Heavy Duty de LCU

Tabla 4. Principales componentes sistema Fuel Explorer (FE)

Luego de completada la documentación de seguridad y chequeo estándar de la División, especialistas de la empresa AikoLogic primero bloquean el equipo objetivo y proceden a realizar la instalación del hardware de su tecnología de adquisición y transmisión de datos.

El trabajo de instalación se divide en 3 zonas principalmente CAEX, las cuales son indicadas en la ilustración número 10.

- Zona A, corresponde a la parte inferior y lateral del estanque de combustible, al costado derecho del camión de extracción, en esta zona se instala el LCU (Local Computer Unit) y una caja de derivación la cual se comunica a través de una red 3G con el servidor central, para lo anterior se utiliza una canalización electrónica

ubicada en la cabina del camión de extracción. En esta zona se realizan dos mediciones para calibrar los parámetros del sistema, una debajo del estanque y otra por el costado.

- Zona B, corresponde a toda la canalización electrónica que cruza el chasis del camión de extracción, esta canalización conecta el LCU con los sistemas electrónicos instalados en cabina.
- Zona C, corresponde a todos los sistemas electrónicos instalados en cabina los cuales tienen por objetivo la adquisición y transmisión de datos del sistema.

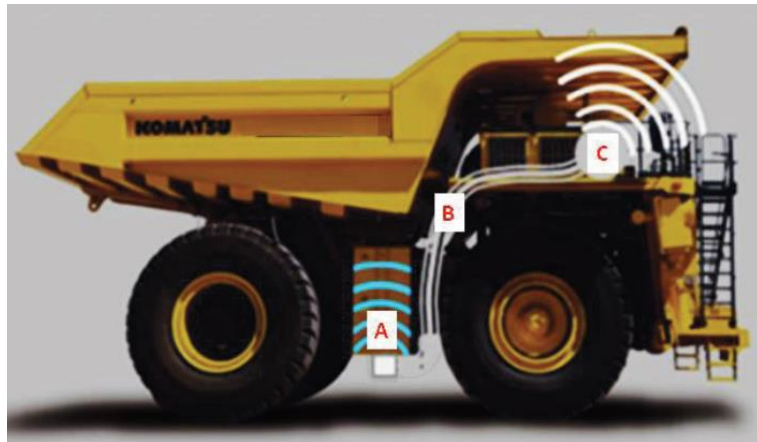


Ilustración 10. Principales zonas de trabajo para la instalación del sistema FE

Mediciones de calibración:

- Medición debajo del estanque, tiene por objetivo obtener el mejor punto en el cual sea posible obtener una buena señal respecto de la potencia de recepción del pulso ultrasónico. Mientras mejor señal tenga el sistema mayor será la precisión de este, además se fija la frecuencia óptima con la cual deben ser enviados los pulsos.
- Medición lateral del estanque, tiene por objetivo definir la velocidad de propagación de la onda ultrasónica calculando el tiempo en que la señal es transmitida por el combustible. Entonces, teniendo el tiempo y distancia recorrida por la señal se calcula la velocidad de propagación de manera precisa.



Ilustración 11. A la izquierda se observa la medición debajo del estanque, y a la derecha la medición lateral

En el panel de la cabina del camión se posiciona la unidad electrónica procesadora de datos, dicha unidad corresponde a un gabinete metálico el cual contiene el controlador/datalogger y router 3G, dicho sistema tiene por objetivo procesar, almacenar localmente y transmitir información a través de una señal 3G hacia los servidores centrales que mantienen la plataforma de monitoreo Fuel Explorer. En la cabina también se conecta el sistema a un punto de conexión eléctrica propia del camión.

Finalmente en la misma zona C es instalada la antena de transmisión.



Ilustración 12. A la izquierda se observa la antena de transmisión sobre la cabina del camión, a la derecha la unidad electrónica montada dentro de la cabina

El sistema de fijación del sensor ultrasónico en la base del estanque consiste en lo siguiente:

- Base imantada, es aquella que permite al sensor mantener contacto con la base inferior del estanque, está compuesta por 7 imanes industriales de neodimio.

- Carcasa protectora, estructura metálica de protección la cual evita que el hardware sea impactado por proyecciones de roca en terreno.
- Pletinas porta abrazaderas, estructuras metálicas que permiten guiar y proteger el conduit galvanizado que conecta el sensor con la cara lateral del estanque.

En la ilustración número 13, es posible apreciar la mejora que tuvo que realizarse respecto a la protección que posee el sensor de las proyecciones de roca y manipulaciones no autorizadas.



Ilustración 13. A la izquierda se observa el primer sensor instalado sin protección, y a la derecha el segundo sensor con la estructura metálica incorporada

4.4.2 PUESTA EN MARCHA

El periodo de tiempo desde que fueron instalados los sistemas en el CAEX 10, hasta el inicio de la transmisión del nivel de combustible fue de 24 horas, tiempo en el cual personal técnico de AikoLogic interpreto y adapto los datos a una plataforma en línea a la cual dio inmediato acceso a personal de la División.

La plataforma del sistema Fuel Explorer se despliega en línea como se aprecia en la ilustración número 14, donde es posible observar el nivel de combustible del camión de extracción número 10.

Existen seis etiquetas diferentes para la flota de camiones que posea el sistema instalado, las cuales son normal, bajo, crítico, off line, mantenimiento y sin sensor, permitiendo visualizar el estado instantáneo del nivel de combustible de toda la flota.



Ilustración 14. Despliegue general de plataforma en línea del sistema FE

En la siguiente ilustración se muestra el gráfico que fue posible desplegar del CAEX 10, donde es posible observar puntos máximos y mínimos, los cuales muestran el comportamiento del nivel al momento de ser abastecido con combustible.

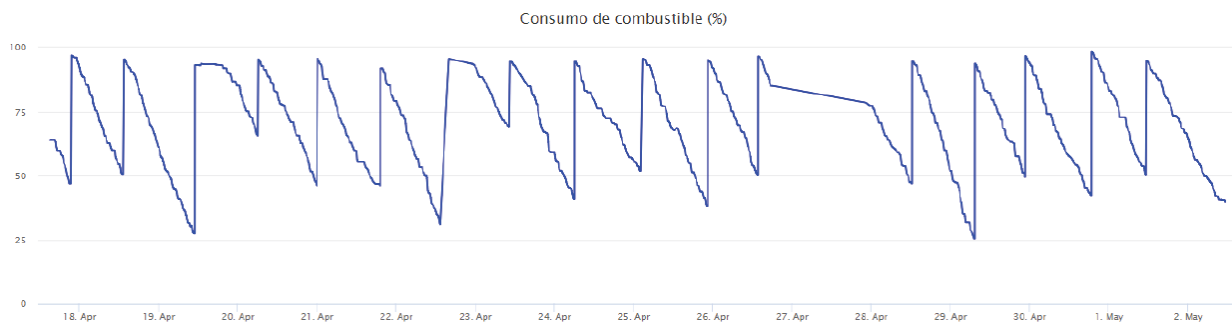


Ilustración 15. Comportamiento instantáneo del nivel de combustible del camión de extracción 10

4.4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS PRUEBA PILOTO

El análisis del presente estudio se basa en el comportamiento de la información desplegada en la ilustración 14, donde es posible apreciar el nivel de combustible del camión 10.

De la ilustración anterior podemos decir que en promedio el camión es provisionado con un 44,7% de su estanque aún con combustible, muy por sobre el 15% recomendado por los proveedores de los motores de los camiones de extracción Cummins.

Esto finalmente, se traduce en una frecuencia de llenado elevada, y por lo tanto pérdidas de eficiencia en la gestión del uso de los equipos de transporte de material.

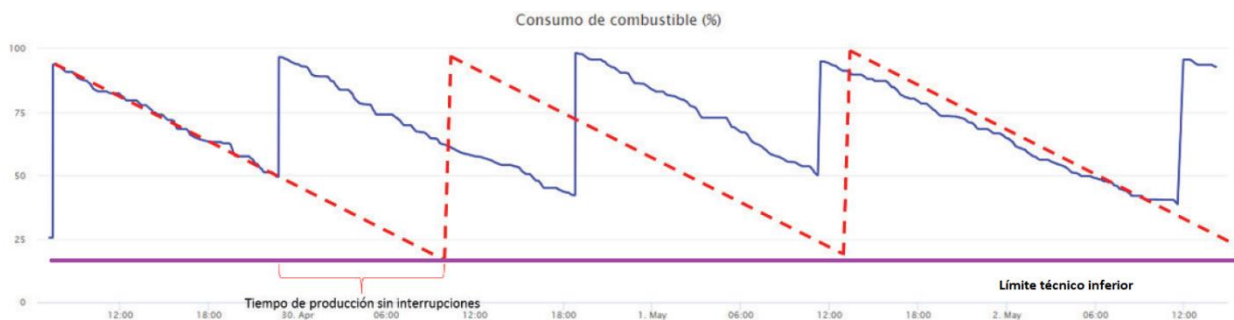


Ilustración 16. Simulación del comportamiento ideal respecto al abastecimiento de combustible

La ilustración número 16 busca ejemplificar la oportunidad de mejora existente en el sistema de gestión de abastecimiento de la División Gabriela Mistral, ya que es posible reducir los tiempos no productivos al disminuir el número de eventos de abastecimientos. La línea azul despliega el comportamiento de la lecturas del sensor instalado, la línea segmentada roja corresponde a un perfil ideal de llenado al 20%, la línea morada indica el porcentaje ideal de llenado.

De acuerdo al sensor instalado, es posible apreciar que el camión 10 se abastece 1,3 veces al día, es decir, aproximadamente 40 veces mensuales, existiendo un potencial de ser abastecido 1 vez al día.

Por lo tanto, por cada vez que no se envía un camión de extracción debido a un abastecimiento innecesario se transfiere tiempo productivo de camión a la producción.

4.4.4 VALIDACIÓN DEL SENSOR DE COMBUSTIBLE

Para validar el funcionamiento de la tecnología implementada se realizó un cruce de información de dos bases de datos, por un lado se encuentra aquella entregada por la plataforma en línea del sistema Fuel Explorer, y por el otro la base de datos generada por el software Orpak, la segundo es una base de datos generada en línea por Copec, empresa proveedora de combustible en División Gabriela Mistral.

El sistema Orpak recauda la información de cada abastecimiento realizado dentro de la División, la medición se realiza a través de sensores instalados tanto en las pistolas de aprovisionamiento como en la entrada de combustible de los estanques, su medición es precisa y segmentada en función a cada equipo abastecido.

A continuación se presenta el histograma de comparación entre ambos sistema de medición en litros, donde es posible observar que ambos reportan un volumen de litros equivalente, y donde tanto la media como la desviación estándar presentan valores similares.

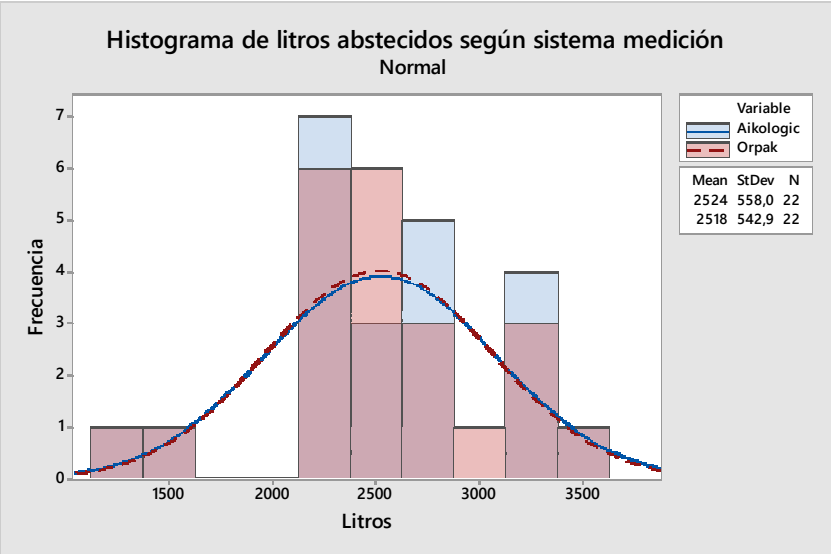


Gráfico 3. Comparación sistema de medición volumétrico Orpak versus Fuel Explorer

Según el histograma de a continuación la desviación presentada entre ambos sistemas posee una media de 0,11% de error.

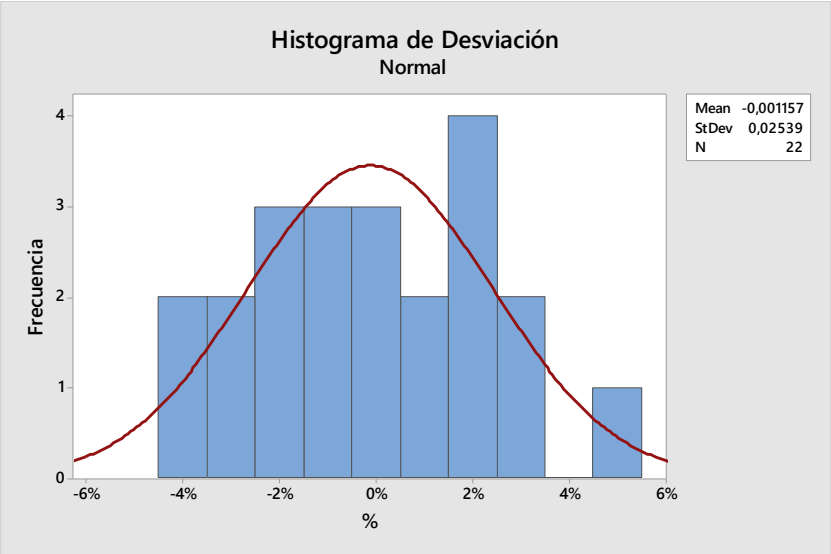


Gráfico 4. Desviación dentre ambos sistemas de medición

El porcentaje de desviación entre ambos sensores de medición fue calculado con la siguiente formula.

$$\% \text{ de desviación} = \frac{(\text{Litros registrados Orpak} - \text{Litros registrados FuelExplorer})}{\text{Litros registrados Orpak}}$$

Ecuación 15. Porcentaje de desviación entre ambos sensores de medición

En términos generales, en un periodo de tiempo de 3 meses, el total de litros registrados por ambos sistemas de medición presentaron una desviación de sólo 0,24%.

Litros Registrados			
Fuel Explorer	Orpak	Desviación en litros	Desviación en porcentaje
166.575	166.173	402	0,24%

Tabla 5. Desviación registro Orpak versus Fuel Explorer

CAPITULO 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

A continuación, se presenta el cálculo de beneficio de la implementación de la tecnología en estudio Fuel Explorer de AikoLogic para la flota de camiones de extracción de la División Gabriela Mistral.

Antes de calcular el beneficio se presentarán las principales variables que serán consideradas.

5.1 TIEMPOS PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE

El tiempo total que toma el proceso de abastecimiento de combustible desde que el camión de extracción desvía su trayecto hacia la petrolera hasta que vuelve a incorporarse a la ruta de acarreo se divide en 5 fases.

- Fase 1, tiempo de traslado hacia petrolera.
- Fase 2, tiempo de espera del camión de extracción previo a ser cargado con combustible.
- Fase 3, tiempo efectivo de abastecimiento de combustible.
- Fase 4, tiempo de detención posterior al abastecimiento de combustible.

- Fase 5, tiempo de traslado para reincorporarse a la ruta de acarreo.

El tiempo total comprendido entre las fases detalladas anteriormente es aquel que es posible transformar en productivo cuando se eliminan eventos por abastecimiento de combustible innecesario o ineficiente.

A continuación, se presenta una tabla con los tiempos promedio diario en minutos obtenidos en una semana en terreno durante el mes de Abril del año 2018, es posible apreciar que en la práctica existe una variabilidad considerable.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Muestra	Traslado a petrolera	Cola en petrolera	Abastecimiento combustible	Espera posterior	Traslado a ruta acarreo
17-04-2018	26,1	27,0	10,4	11,1	0,0
18-04-2018	25,4	17,5	14,2	10,0	10,0
19-04-2018	18,0	18,5	10,0	7,0	15,0
20-04-2018	22,0	1,0	8,0	3,0	17,1
21-04-2018	23,0	1,0	14,3	4,0	19,0
22-04-2018	17,8	0,0	12,0	1,0	26,0
Promedio	22,1	10,8	11,5	6,0	14,5

Tabla 6. Tiempos según fase proceso de abastecimiento de combustible

$$Tiempo\ promedio\ total = fase\ 1 + fase\ 2 + fase\ 3 + fase\ 4 + fase\ 5$$

$$Tiempo\ promedio\ total = 22,1\ min + 10,8\ min + 11,5\ min + 6,0\ min + 14,5\ min$$

$$Tiempo\ promedio\ total = 64,9\ min$$

Ecuación 16. Cálculo tiempo promedio abastecimiento combustible

Se cuenta con un espacio muestral pequeño debido a que el sistema Dispatch no posee mediciones específicas del ciclo de abastecimiento.

Por lo tanto, con el objetivo de ser conservador con la evaluación económica se considerará que el ciclo de abastecimiento de combustible posee una duración de 60 minutos por carga.

5.2 VOLUMEN DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE

Cuando se toma la base de datos del año 2017 del sistema Orpak otorgado por Copec es posible apreciar que la media de litros abastecidos es de 2.331, tal como se aprecia en el gráfico número 4.

El estanque de combustible de los camiones de extracción posee una capacidad de 4500 litros, es decir, se abastece sólo el 52% de su capacidad.

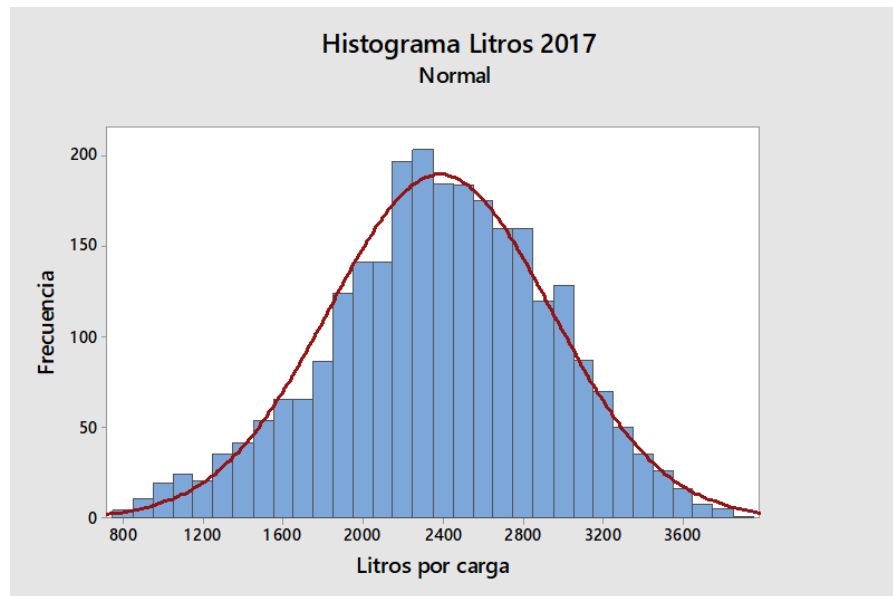


Gráfico 5. Histograma abastecimiento de combustible año 2017

Con la implementación de la tecnología del tipo IIoT se busca aumentar el volumen suministrado por evento de abastecimiento de 2.331 a 3.600 litros, es decir aumentar en un 35% el volumen de carga aproximadamente, reduciendo así el total de eventos por abastecimiento.

En la tabla número 7 se observa la estadística descriptiva de la base de datos Orpak que contiene datos desde el 1 de Enero 2017 hasta el 31 de Diciembre 2017.

Media	2.331
Desviación estándar	716
Mínimo	0
Máximo	4.494
Suma	18.037.402
Cuenta	7.737

Tabla 7. Estadística Descriptiva sistema Orpak

Según tabla anterior, en el año 2017 se suministró 18 millones de litros de combustible aproximadamente a la flota de camiones de extracción, en un total de 7.737 eventos. A continuación se calcula el nuevo número de eventos por combustible anual en el caso que se implementará la tecnología propuesta.

$$\text{Número de eventos con tecnología IIoT} = \frac{\text{Volumen de litros anual}}{\text{Volumen de abastecimiento con tecnología IIoT}}$$

$$\text{Número de eventos con tecnología IIoT} = \frac{18.037.402}{3.600}$$

$$\text{Número de eventos con tecnología IIoT} = 5.010$$

Ecuación 17. Cálculo de nuevo número de eventos por combustible

Número de eventos sin tecnología	Número de eventos con tecnología	Reducción de eventos
7337	5010	35%

Tabla 8. Reducción número de eventos por combustible con tecnología

Con la implementación de la nueva tecnología se puede determinar que el número de eventos por combustible se reducirá en un 35%.

5.2.1 TIEMPO DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE ANUAL

Se toma el supuesto que el número de horas por concepto de abastecimiento se reducirá en proporción con respecto a la reducción de número de eventos por abastecimiento. El año 2017 según el sistema Dispatch registró un total de 1.560 horas por concepto de abastecimiento de combustible.

Por lo tanto, al reducir el número de eventos por abastecimiento también se reducirá el tiempo registrado por el sistema Dispatch.

$$\text{Nuevo tiempo por abastecimiento} = \text{Registro de tiempo anual sin tecnología} \times \left(\frac{\text{Número de eventos con tecnología}}{\text{Número de eventos sin tecnología}} \right)$$

$$\text{Nuevo tiempo por abastecimiento} = 1.560 \text{ horas} \times \left(\frac{5.010 \text{ eventos}}{7.737 \text{ eventos}} \right)$$

$$\text{Nuevo tiempo por abastecimiento} = 1.010 \text{ horas anual}$$

Ecuación 18. Cálculo de tiempo total de combustible con la tecnología

Demora por combustible sin tecnología	Demora por combustible sin tecnología	Reducción de tiempo
1560	1010	35%

Tabla 9.Reducción tiempo por combustible con tecnología

Con la implementación de la nueva tecnología se puede determinar que el tiempo transformado desde abastecimiento de combustible a operativo anual es de 550 horas.

5.2.2 TONELAJE EQUIVALENTE POR TIEMPO INCORPORADO

El uso de la tecnología IloT permite añadir 550 horas productivas al programa de producción anual, por lo que es posible calcular el tonelaje equivalente adicional para realizar el cálculo del nuevo costo.

Si se utiliza como dato el rendimiento efectivo de la flota de camiones de extracción del año 2019 de la División Gabriela Mistral 600 toneladas por hora efectiva es posible realizar el siguiente cálculo.

$$\frac{\text{Tonelaje equivalente}}{\text{tiempo incorporado}} = \frac{\text{Rendimiento Efectivo}}{\text{flota CAEX}} \times \text{Tiempo incorporado}$$

$$\frac{\text{Tonelaje equivalente}}{\text{tiempo incorporado}} = 600 \frac{\text{toneladas}}{\text{hora efectiva}} \times 550 \text{ horas}$$

$$\frac{\text{Tonelaje equivalente}}{\text{tiempo incorporado}} = 329.858 \text{ toneladas}$$

Ecuación 19. Cálculo de tonelaje equivalente incorporado

La tecnología permitirá a la división reducir su costo mina debido a que con el mismo gasto anual se podrá realizar mayor movimiento mina.

5.2.3 REDUCCIÓN DE COSTO

Para calcular la reducción de costos debido al uso de la tecnología primero se debe calcular el costo mina de la división, el cual se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Costo Mina Divisional} = \frac{\text{Gasto Mina}}{\text{Movimiento Mina}}$$

Ecuación 20. Cálculo del Costo Mina

Como dato se cuenta con el gasto y movimiento mina real de 18 meses a partir de enero 2018.

	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18
Gasto Mina [USD]	16.048.542	17.623.262	15.376.876	15.008.827	15.792.846	15.352.983
Mov. Mina [ton]	6.125.072	5.704.889	4.068.856	3.729.615	5.769.111	5.891.341
Costo [USD/ton]	2,620	3,089	3,779	4,024	2,737	2,606

	jul-18	ago-18	sept-18	oct-18	nov-18	dic-18
Gasto Mina [USD]	16.125.367	15.655.966	15.077.316	15.657.819	16.579.184	18.766.986
Mov. Mina [ton]	5.944.999	5.558.394	4.138.319	4.099.026	5.308.808	6.105.831
Costo [USD/ton]	2,712	2,817	3,643	3,820	3,123	3,074

	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19
Gasto Mina [USD]	14.790.127	15.808.398	12.810.589	15.515.684	14.898.663	15.224.892
Mov. Mina [ton]	5.993.044	5.173.735	4.698.673	4.882.626	5.100.662	5.123.552
Costo [USD/ton]	2,468	3,056	2,726	3,178	2,921	2,972

Tabla 10. Gastos y costos mina desde Enero 2018 hasta Junio 2019

Con la tabla anterior se puede estimar el costo mina del año 2019.

$$\text{Costo Mina Divisional sin tecnología IIoT} = \frac{\sum \text{Gasto Mina}}{\sum \text{Movimiento Mina}}$$

$$\text{Costo Mina Divisional sin tecnología IIoT} = \frac{282.114.326 \text{ dolares}}{93.416.552 \text{ toneladas}}$$

$$\text{Costo Mina Divisional sin tecnología IIoT} = 3,020 \frac{\text{dolares}}{\text{tonelada}}$$

Ecuación 21. Costo Mina Divisional sin tecnología

Para calcular el costo mina divisional utilizando la tecnología IIoT utilizaremos el dato calculado en la sección anterior respecto al tonelaje equivalente incorporado.

$$\text{Costo Mina Divisional con tecnología IIoT} = \frac{\sum \text{Gasto Mina}}{\sum \text{Movimiento Mina con tecnología}}$$

$$\text{Costo Mina Divisional con tecnología IIoT} = \frac{\sum \text{Gasto Mina}}{\sum \text{Movimiento Mina} + (\text{Tonelaje incorporado anual} \times 1,5)}$$

$$\text{Costo Mina Divisional con tecnología IIoT} = \frac{282.114.326 \text{ dolares}}{93.416.552 \text{ toneladas} + 494.786 \text{ toneladas}}$$

$$\text{Costo Mina Divisional con tecnología IIoT} = 3,004 \frac{\text{dolares}}{\text{tonelada}}$$

Ecuación 22. Costo Mina Divisional con tecnología

Con lo anterior es posible calcular el delta costo que es posible ahorrar con el uso de la nueva tecnología.

$$\text{Disminución de costo mina por uso tecnología IIoT} = \text{Costo Mina sin tecnología} - \text{Costo Mina con tecnología}$$

$$\text{Disminución de costo mina por uso tecnología IIoT} = 3,020 \frac{\text{dolares}}{\text{tonelada}} - 3,004 \frac{\text{dolares}}{\text{tonelada}}$$

$$\text{Disminución de costo mina por uso tecnología IIoT} = 0,016 \frac{\text{dolares}}{\text{tonelada}}$$

Ecuación 23. Cálculo de reducción del costo mina con tecnología

5.2.4 INGRESO ANUAL POR USO DE TECNOLOGÍA

Como se comentó anteriormente la forma de evaluar económicamente el proyecto no se justifica en un aumento de cobre fino, sino por una reducción de costos, lo anterior según el estándar de evaluación del área de innovación de la División Gabriela Mistral.

Debido a que el presente estudio se realizó con fondos del área de innovación se rigió a sus estándares de evaluación. El estudio considera que el proyecto queda operativo a partir del año 2020.

Para calcular el ingreso del proyecto se debe calcular el ahorro producido, debido a lo anterior se tiene como dato lo siguiente.

Datos

- Disminución de costo mina, 0.015 dólares por tonelada.
- Movimiento mina planificado año 2020, 66.677 millones de toneladas.

Con lo anterior es posible calcular el ingreso del proyecto.

$$\text{Ingreso del proyecto} = \frac{\text{Disminución de costo}}{\text{mina por uso tecnología IIoT}} \times \text{Movimiento Mina Planificado Año 2020}$$

$$\text{Ingreso del proyecto} = 0,016 \frac{\text{dolares}}{\text{tonelada}} \times 66.677.223$$

$$\text{Ingreso anual del proyecto} = 106.091 \text{dolares}$$

Ecuación 24. Cálculo de ahorro anual mina según plan movimiento año 2020

5.2.5 INVERSIÓN

Para la implementación del sistema Fuel Explorer es requerido adquirir un conjunto de componentes para cada camión de extracción, el conjunto completo consiste en lo siguiente:

- Electrónica de captación de datos LCU.
- Ferrería de instalación y estructura metálica protectora de LCU.
- Electrónica de almacenamiento y comunicación 3G.

El valor de compra e instalación de cada unidad es de 9 mil dólares, es decir, para la flota completa de camiones de extracción se requiere de una inversión de 162 mil dólares, lo anterior considera:

- Componentes del sistema para la flota de camiones (hardware, software).
- Servicio de remoción e instalación.

Los gastos por renovación o reposición de componentes son tomados por el contrato de operación y mantenimiento del propio sistema.

5.2.6 SERVICIO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

El valor de la propuesta tecnológica respecto de los servicios de mantenimiento preventivo de la plataforma y componentes del sistema Fuel Explorer en fase de productividad de los camiones de extracción consiste en lo siguiente:

- Contrato de mantenimiento preventivo de componentes instalados en los camiones de extracción.

- Servicio de transmisión remota de datos generado por hardware de adquisición de datos vía 3G el cual funciona en base a una compañía telefónica. En caso de caída del sistema de transmisión 3G, Aikologi no se hace responsable, ya que depende directamente del área de Tecnología e informática de Codelco.
- Web hosting de software servidor sistema Fuel Explorer con acceso vía internet a los datos generados por el sistema.
- La información generada quedará almacenado en un equipo de Codelco, al cual sólo personal autorizado por el mismo tiene acceso.

El valor del servicio mensual para la flota de 18 camiones de la División Gabriela Mistral es 234 UF, es decir, 2.808 UF anuales.

$$\text{Costo servicio operación y mantenimiento} = 2.808 \text{ UF}$$

Con un valor dólar de 835 pesos y unidad de fomento de 28.567 pesos al 30-03-2020.

$$\text{Costo anual servicio operación y mantenimiento} = \frac{\text{Valor Servicio en UF} \times \text{Valor UF}}{\text{Precio Dolar}}$$

$$\text{Costo anual servicio operación y mantenimiento} = \frac{2.808 \text{ UF} \times 28.567 \frac{\text{pesos}}{\text{UF}}}{835 \frac{\text{pesos}}{\text{dolar}}}$$

$$\text{Costo anual servicio operación y mantenimiento} = 96.067 \text{ dolares}$$

Ecuación 25. Cálculo costo servicio operación y mantenimiento anual

5.2.7 CÁLCULO DE BENEFICIO

Para el cálculo de beneficio se utiliza la siguiente tabla la cual resume los resultados obtenidos:

Ingreso anual del proyecto [kUSD]	1.061
Inversión del proyecto [kUSD]	162
Costos anual del proyecto [kUSD]	96

Tabla 11. Principales variables evaluación económica del proyecto

Con los datos de la tabla anterior es posible construir el siguiente flujo.

		AÑO					
Unidad		0	1	2	3	4	5
Inversión	kUSD	-162					
Costos	kUSD		-96	-96	-96	-96	-96
Ingreso	kUSD		1061	1061	1061	1061	1061
Utilidad	kUSD	-162	965	965	965	965	965

Tabla 12. Flujo de caja proyecto IloT

Según el flujo observado es posible decir que el retorno de la inversión se produce antes del primer año de funcionamiento.

5.2.7.1 VALOR ACTUAL NETO

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujos de Caja}}{(1 + \text{tasa interes})^t} - \text{Inversión}$$

Ecuación 26. Fórmula del Valor Presente Neto

Utilizando el flujo de la tabla anterior, se calcula el VAN a 5 años utilizando una tasa de descuento del 8%, siguiendo el estándar de evaluación del área de Innovación.

$$VAN = \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^1} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^2} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^3} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^4} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^5} - 162 \text{ kUSD}$$

$$VAN = 3.690 \text{ kUSD}$$

Ecuación 27. Cálculo del Valor Presente Neto

Según el VAN observado el proyecto es rentable.

5.2.7.2 TASA INTERNA DE RETORNO

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujos de Caja}}{(1 + TIR)^t} - \text{Inversión}$$

Ecuación 28. Fórmula de la Tasa Interna de Retorno

$$0 = \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^1} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^2} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^3} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^4} + \frac{1061 \text{ kUSD}}{(1 + 8\%)^5} - 162 \text{ kUSD}$$

$$TIR = 596\%$$

Ecuación 29. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

Según el TIR observado el proyecto es de bajo riesgo.

5.2.7.3 PLAZO DE RECUPERACIÓN

$$\text{Plazo de recuperación} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ingreso anual al flujo de caja}}$$

Ecuación 30. Fórmula de plazo de recuperación

$$\text{Plazo de recuperación} = \frac{162 \text{ kUSD}}{965 \frac{\text{kUSD}}{\text{año}}}$$

$$\text{Plazo de recuperación} = 0,17 \text{ años} = 2,01 \text{ meses}$$

Ecuación 31. Cálculo de plazo de recuperación

Según el plazo observado el proyecto es de rápida recuperación.

5.2.7.4 RETORNO DE LA INVERSIÓN

$$\text{ROI} = \frac{\text{Utilidad} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

Ecuación 32 . Fórmula del retorno de la inversión

Se calcula el ROI al primer año para calcular la rentabilidad que se puede obtener de la inversión propuesta.

$$\text{ROI primer año} = \frac{965 \text{ kUSD} - 162 \text{ kUSD}}{162 \text{ kUSD}}$$

$$\text{ROI primer año} = 496\%$$

Ecuación 33. Cálculo de ROI primer año

Según el retorno observado es posible decir que la inversión es rentable, y debido a que el valor es elevado y sobre el 100%, podemos decir que el capital va a ser recuperado el primer año.

CAPITULO 6 ANÁLISIS

El presente estudio siguió un orden lógico que va desde la identificación de la oportunidad de mejora hasta la propuesta económica de implementar una tecnología del tipo IIoT en la División Gabriela Mistral.

Se realizó un levantamiento de la necesidad actual de la División, el cual arrojó como resultado que el proceso unitario de transporte de material es aquel que posee un mayor potencial de mejora. El proceso de transporte realizado por los camiones de extracción posee una capacidad productiva por hora nominal de aproximadamente un 51% respecto a la de carguío, y un 68% respecto a la de perforación, por lo tanto, podemos decir que el proceso de transporte es aquel con menor capacidad por una diferencia considerable versus el resto de procesos de la gerencia mina.

A través de la utilización de la norma ASARCO, se determinó que dentro de la unidad productiva de acarreo de material el proceso de abastecimiento de combustible es uno de los estados donde la flota de camiones pierde mayor productividad.

Del análisis realizado al proceso de abastecimiento se identificó que posee deficiencias respecto a la gestión de envío de CAEX a abastecimiento, ya que estos son abastecidos con una frecuencia mayor a la necesaria, lo anterior provoca una reducción en la autonomía de los equipos, que finalmente se traduce en pérdidas productivas.

Actualmente se utiliza un método que no sólo sobre estima la tasa de consumo, sino que también considera que los camiones poseen un estanque de menor capacidad, derivando finalmente en estimaciones de autonomía desviada a la baja respecto a lo que realmente ocurre. La autonomía que presenta la flota de CAEX sin el uso de tecnología es de 18 horas.

Para aumentar la autonomía de la flota de transporte se planteó el uso de tecnología del tipo IIoT, la cual permite a los despachadores contar con la información en tiempo real del nivel de combustible de los equipos.

Según los análisis realizados, contar con el nivel de combustible en tiempo real permitió aumentar la autonomía de los camiones en 6 horas, ya que se buscó realizar la carga de

combustible con el 20% del estanque, es decir, con 900 litros, y no con los 2.025 litros actuales.

Para dar solución a la oportunidad detectada se tomó la decisión de realizar una prueba piloto de alguna tecnología del tipo IIoT, la cual permita al despachador contar con la información necesaria. Con el apoyo de CodelcoTech se seleccionaron 3 empresas, las cuales cumplieron con los criterios iniciales de selección para realizar una prueba piloto de alguna alternativa.

Los criterios de selección de las empresas fueron:

- Tecnología propuesta cumple con entregar la información en tiempo real.
- La instalación de la tecnología no debe impactar mecánicamente la estructura de los estanques en gran medida.
- La solución planteada debe ser de bajo impacto capital, y capaz de resistir el abrasivo entorno minero.

Luego de elegidas las empresas que puedan entregar una posible solución se procedió a la determinación de la tecnología a probar en un piloto. Las variables consultadas fueron clasificadas según el método de priorización de requisitos MoSCoW, el cual arrojó que la empresa AikoLogic junto a su tecnología Fuel Explorer cumple con el 94% de los requerimientos planteados, versus un 73% y 45% de TARCO y Tekmin respectivamente.

La prueba piloto del sensor de combustible de la empresa AikoLogic resultó ser exitosa en tiempo y resultados, lo cual generó interés en la División por adquirir el servicio de operación y mantenimiento para toda su flota de camiones.

Los resultados observados en la prueba piloto permitieron comprobar:

- Eficacia de la tecnología probada.
- Robustez de la generación de información.
- Confiabilidad de los componentes instalados.
- Sencillez de instalación y remoción de componentes.

Posterior a la prueba piloto y su correspondiente obtención de información, se generó una evaluación económica.

La evaluación económica generada posee parámetros justificados en la prueba piloto, lo cual reduce el riesgo de la propuesta. El valor de la propuesta es capturado al aumentar la autonomía de la flota CAEX de 18 a 24 horas, lo cual se traduce en una reducción de costos por tonelada de 0,02 dólares, que se traduce finalmente, en una utilidad anual de aproximadamente 900 mil dólares al año.

Implementar la tecnología propuesta posee un VAN de 3,7 millones de dólares a 5 años, una TIR de 596%, un ROI al primer año de 496%, y un plazo de retorno de 2 meses, es decir, se plantea la implementación de una mejora que posee una elevada utilidad, bajo riesgo, elevada rentabilidad y rápida recuperación de la inversión.

La presente tesis recomienda adquirir los componentes del sistema Fuel Explorer, e incorporar un nuevo contrato con la empresa AikoLogic de operación y mantenimiento de sus sensores.

El actual desafío de las compañías mineras es mejorar su eficiencia y productividad a través de tecnología e innovación, donde la competitividad del futuro dependerá de la capacidad de inserción de nuevas soluciones.

La necesidad de incorporar soluciones a las diferentes faenas mineras nace de variables propias del negocio y su geología, en Chile es posible apreciar faenas envejecidas, cada vez más profundas y con leyes de minerales decrecientes, lo cual impacta directamente en sus costos y rendimientos de producción. En paralelo, crece el protagonismo de la licencia social, que implica el cuidado del medio ambiente, calidad de vida de comunidades vecinas, limitación en la generación de pasivos, etc. Para todo lo cual, la tecnología es llamada a ofrecer nuevas soluciones.

Desde el punto de vista de las operaciones, estas no son capaces de recibir cambios drásticos, principalmente a que son organismos que trabajan bajo presión, agregando que cada faena busca una solución en particular, acorde a sus características y requerimientos.

El presente estudio es prueba de lo anterior mencionado, ya que a través de pruebas y análisis técnicos se modificó una solución tecnológica, de manera tal que pudiese ser factible su implementación en una división de Codelco.

El proceso de implementación de tecnología en la principal compañía del Estado, posee brechas burocráticas, donde por un lado no se protege a las empresas proveedoras ni se le da, la celeridad requerida a la implementación de los proyectos.

Se recomienda formalizar un protocolo de prueba de nuevas tecnologías, donde se estandarice el proceso de búsqueda, selección e implementación de soluciones del mercado. Además se debe considerar en dicho protocolo que las soluciones deberán ser modificadas para satisfacer los requerimientos particulares de cada faena. Es decir, una vez sea seleccionada una solución en el mercado, se le debe dar la oportunidad a la empresa proveedora de modificar su producto de manera tal que se haga factible su implementación.

Además, el proceso de implementación de nuevas tecnologías se debe hacer cargo del cuidado de las empresas proveedoras, evitando que estas quiebren a lo largo del proceso. Codelco y la gran minería en general, poseen necesidades que requieren inversiones a gran escala, lo cual deja expuestas a la quiebra a las pequeñas empresas en caso de que se retrase algún pago. Por lo anterior, se propone que las áreas de innovación posean poder de acción para acelerar pagos o buscar alternativas que salvaguarden a las empresas proveedoras.

Para agilizar la búsqueda e implementación de nuevas soluciones se debe potenciar las pruebas de concepto (PoC), las cuales al ser pruebas resumidas, permiten verificar la eficacia y eficiencia de las soluciones en cuestión, permitiendo así el input de mejorar a las empresas proveedoras. Lo anterior, ayuda a formalizar el hecho de que las soluciones deben ser modificadas para satisfacer las necesidades particulares de cada faena. Lo importante de realizar pruebas de concepto es demostrar la funcionalidad de las alternativas, permitiendo así a las empresas proveedoras, desarrollar modificaciones que permitan la viabilidad de sus productos.

El país debe sacar provecho de que posee una gran cantidad faenas mineras y empresas proveedoras con las capacidades técnicas de entregar soluciones, por lo que se debe avanzar en el medio para que dichas soluciones se implementen con mayor seguridad y agilidad en la industria.

CAPITULO 7 CONCLUSIÓN

A partir de los resultados alcanzados en este trabajo es posible comprobar el potencial de mejora en el desempeño que introduce la solución propuesta basada en tecnología IloT, Por lo tanto, es posible recomendar la implementación de esta solución basada en IloT para la medición del nivel de combustible de la flota de camiones de extracción debido a que soluciona un problema de sencillo y alto impacto. Se comprobó además que existe un potencial de beneficios elevado respecto al bajo requerimientos de capital, lo que hace atractivo el negocio.

El VAN potencial es de 3,7 millones al quinto año indicando que la inversión producirá elevadas ganancias, por lo que el proyecto es viable. La TIR de 596% está muy por sobre la tasa de descuento del 8% utilizada por Codelco, lo cual indica que la tasa de rendimiento interno es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión. El plazo de retorno de 2 meses es de muy corto aliento, por lo que la maduración del proyecto es rápida, promoviendo aún más la inversión.

Entonces, desde un punto de vista económico y considerando los supuestos, se recomienda la instalación de la solución planteada en la flota de camiones de la División Gabriela Mistral.

Los principales desafíos encontrados en la búsqueda de implementación de nuevas tecnologías en Codelco tienen que ver principalmente con la burocracia de los diferentes procesos, lo cual extienden los plazos de ejecución de adquisición, gestión de contrato, despachos, puesta en marcha etc.

Sin ir más lejos, para el estudio de la presente tesis debió ser requerida la aprobación, en diversas etapas, de los principales ejecutivos de la corporación, es decir, se requirió la firma de gerentes corporativos, gerentes divisionales, y vicepresidentes para llevar a cabo el presente proyecto, donde la mayor complicación no es conseguir la aprobación, sino que es, conseguirla en un plazo adecuado. Muchos de los procesos intermedios fueron detenidos meses debido a esperas de obtención de firmas.

El principal desafío de probar nuevas tecnologías en Codelco es que los sistemas de abastecimiento funcionan con la consigna “dime donde ha sido probado, y cuánto costó”, bajo esa consigna innovar es difícil, ya que la gran mayoría de innovaciones no han sido probadas.

Con el objetivo de agilizar la implementación de nuevas soluciones, sin perder energía en realizar un cambio cultural, se debe movilizar la industria a realizar un mayor número de pruebas piloto, las cuales le permitan a las empresas mandantes sacar provecho del potencial de mercado que posee Chile, a su vez lo anterior, permite a las empresas proveedoras, focalizar sus recursos en dar soluciones más concretas y eficaces.

El sistema de pruebas requiere de un proceso formal que busque agilizar la implementación, donde de manera paralela se proteja económicamente a las empresas proveedoras.

Para la presente tesis se debió generar una nota interna corporativa donde se determinó que el proveedor de los sensores de nivel de combustible es único, es decir, se tuvo que comprobar que no existe nadie en el mercado que provea un producto similar, exigiendo patentes de originalidad de por medio, dicho proceso tomó aproximadamente 8 meses.

Desde el punto de vista de las PYME, la corporación tampoco lo hace fácil, ya que, al tener procesos de adquisición de tecnologías de innovación extensos en plazo, no permite a las empresas mantenerse rentables. Además de una vez aprobado el negocio impacta a las pequeñas empresas con pedidos de gran volumen que las deja sin posibilidad de acción.

Codelco, en sus diversas divisiones posee grandes y rentables oportunidades de generación de valor a través del uso de tecnologías, actualmente los principales desafíos están en torno al internet de las cosas, con proyectos como:

- Centralización de procesos productivos en salas de control ubicadas en centros urbanos.
- Automatización de procesos unitarios mina, por ejemplo, acarreo de material o perforación, utilizando camiones o perforadoras autónomas respectivamente.

- Instalación de sensores operativos en plantas productivas, los cuales se activen y funcionen en base a algoritmos que permitan aumentar el rendimiento de los diferentes activos involucrados.

En adelante y para seguir mejorando el proceso de abastecimiento de combustible es posible analizar la posibilidad de realizar la carga de combustible a través de máquinas automatizadas, los CAEX se detienen en cada evento en el mismo lugar, por lo que hace factible la alternativa de implementar un robot articulado que cargue con combustible los equipos utilizando sensores de detección de las válvulas de inyección.

Finalmente es posible determinar que el desarrollo escogido para la presente tesis fue adecuado de debido a que la solución propuesta basada en tecnología del tipo IIoT, no sólo logró probar su eficacia para resolver el problema de la baja eficiencia del proceso asociado al combustible, sino que, demostró que los indicadores de gestión mejoraron en tal medida que hizo factible la toma de decisión económica para la adquisición de activos y servicios dentro de la División.

El enfoque planteado fue eminentemente práctico buscando soluciones concretas que aportarán ha resuelto el problema. La metodología llevada a cabo, como se menciona en otros pasajes de la tesis, no está carente de presentar oportunidades de mejora, de las cuales en su mayor parte obedecen a problemas estructurales dentro de los procedimientos de la Corporación para adquirir e implementar innovaciones tecnológicas.

Desde el punto de vista de la innovación tecnológica, se recomienda seguir buscando oportunidades de mejora, dentro de los diferentes procesos productivos de la industria, donde aplique la incorporación de tecnología IIoT, la cual prueba en la presente tesis que logra impactar positivamente desempeños de activos mayores, a un bajo costo capital y de sencilla implementación técnica.

En el momento en que se escribe el presente estudio se ha terminado de realizar el proceso de instalación del sistema Fuel Explorer en la flota de camiones de extracción de la División Gabriela Mistral, donde también se adjudicó el contrato de operación y mantenimiento.

CAPITULO 8 BIBLIOGRAFÍA

- Bilbao, R. (2018). *Sensores de ultrasonido*.
- Codelco. (2017). *Nota interna ASARCO Corporativo*.
- CODELCOTECH. (2018). *Ficha Técnica LCU Monitoreo de Combustible*. Santiago.
- CODELCOTECH. (2018). *Prueba Piloto Sistema Monitoreo de Consumo y Llenado Óptimo de Combustible en CAEX Mina Gaby*. Santiago.
- Confederación empresarial de Madrid. (s.f.). *La innovación, un factor clave para la competitividad de las empresas*. Madrid: Dirección General de Investigación.
- Crespo, W. (9 de Febrero de 2011). *automatizacionindustrial wordpress*. Obtenido de <https://automatizacionindustrial.wordpress.com/2011/02/09/queeslaautomatizacionindustrial/>
- Crespo, W. (2011). <https://automatizacionindustrial.wordpress.com/>.
- Economipedia. (s.f.). Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/capex.html>
- Enciclopedia Financiera. (08 de 2014). *Enciclopedia Financiera*. Obtenido de <https://www.encyclopediainanciera.com/definicion-opex.html>
- IM2. (2016). *ANÁLISIS SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÓNOMO (AHS) EN DIVISIÓN GABRIELA MISTRAL (DGM), LEVANTAMIENTO MODELO OPERACIONAL AUTÓNOMO*. Santiago.
- Internet Society. (2015). *La internet de las cosas - Una breve reseña*.
- José del Sagrado, I. M. (s.f.). *Expansión cuantitativa del método MoSCoW para la priorización de requisitos*. Almería, España.
- Moreno, E. G. (s.f.). *Automatización de procesos industriales*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Routzong, M. H. (2018). *How to maximize the value of IloT and IoT Strategy*.
- Spa, A. (2018). *Ficha Técnica LCU Fuel Explorer*. Santiago.

ANEXOS

RESPUESTAS TEKMIN CUESTIONARIO CODELCOTECH

EXPERIENCIA Y EXPERTICIA TEKMIN

1. ¿Su tecnología está disponible comercialmente? ¿Su tecnología ha sido comercializada en el extranjero y/o en Chile? De ser así detallar cantidad de productos o servicios comercializados y descripción de los clientes. ¿Ha tenido clientes en la industria minera? Detalle sus respuestas.

Respuesta:

Si, nuestra tecnología está disponible comercialmente como producto probado y validado en la industria minera. No ha sido comercializado, pero sí validado mediante un proyecto piloto.

2. Describa la experiencia de su personal que típicamente participa en servicios de instalación, operación y/o mantenimiento. Puede indicar roles (por ejemplo, director, supervisores y técnicos), calificaciones, años de experiencia y deberes principales desempeñados en dichos proyectos. Puede agregar CV del personal indicado.

Respuesta:

La siguiente es una descripción del equipo que ha sido conformado, de manera que la experiencia y conocimientos particulares de cada uno de los profesionales, sea utilizado de la mejor forma para cumplir con las responsabilidades establecidas y la ejecución eficiente del servicio. Varios de los miembros propuestos en el equipo han trabajado recientemente en actividades relacionadas con los procesos mineros y privada de proyectos, contando con una amplia experiencia en materias atinentes a las que se convoca en esta ocasión.

Para el servicio se necesita un jefe de proyecto, ingeniero de proyecto, supervisor en terreno y ayudante de instalación, más un asesor en prevención de riesgo. El personal cuenta con más de 5 años de experiencia instalando y probando sistemas de monitoreo

online en equipos mineros y ferroviario. A continuación, se muestra una descripción resumida de los profesionales que participan de forma directa en el proyecto.

Resumen: Jefe proyecto.

- Héctor Herrera, Ingeniero Civil Electrónico – UTFSM, Master of Science in Business Administration - University of Rochester USA, y Global MBA – UCH, con 12 años de experiencia en planificación, desarrollo y gestión de proyectos de innovación tecnológica en telecomunicaciones, principalmente, en las industrias de educación, minería y transporte.

Resumen: Asesor prevención de riesgo.

- Francisco Castillo, Ingeniero de Minas U. Técnica del Estado, Experto SERNAGEOMIN CLASE: A – REGISTRO N° 480 PA, Experto Profesional en Prevención de Riesgos – REGISTRO N° 701 – A, Licenciado en Salud Ocupacional UCH, Diplomado en Gestión Ambiental Minero-Industrial, U. Del norte, Diplomado – Magister en Control de Gestión Gerencial UCH. Asesor y consultor empresas Sistemas Integrados de Gestión HSEC, RESSO, SIGO, ECF y otros sistemas de SSO aplicados a empresas mineras.

Resumen: Ingeniero de proyecto.

- Arnau Sarda, Ingeniero en Telecomunicaciones de la Universidad de Cataluña. Más de 5 años de experiencia como programador en lenguajes como .Net, c#, y J2e, entre otros. Consultor BI y SAP, con experiencia sobre Oracle, Teradata (bteq), SybaseIQ, SQLServer, Mysql y PostgreSql.

Resumen: Técnico de proyecto.

- Diego Campillay, Técnico en Nivel Superior en Electrónica Industrial de la Universidad Tecnológica de Chile Inacap. Más de 6 años de experiencia en proyectos eléctricos y electrónicos para la Gran Minería. Altos conocimientos y experiencia en telecomunicaciones, sistemas de control, sistemas GPS, redes inalámbricas, sistemas computacionales, instrumentación y electrónica en general.

Resumen: Supervisor en Terreno - Técnico de Proyecto.

- Claudio Araya, Técnico en Electricidad Industrial de la Universidad Tecnológica de Chile Inacap. Más de 11 años de experiencia en proyectos eléctricos y electrónicos para la gran minería. Altos conocimientos y experiencia en telecomunicaciones, sistemas de control, redes inalámbricas, sistemas computacionales, instrumentación y electrónica en general.

Adicionalmente, como equipo de apoyo al proyecto se cuenta con los siguientes profesionales:

Resumen: Director.

- Alfredo Perea, Ingeniero Informático - UTFSM e Ingeniero Civil Industrial - UGM. Director con más de 18 años de experiencia en empresas del área minera, naviera, seguros, alimentos, financiera y retail. Con exitosa participación en variados proyectos relevantes en el área tecnológica y de servicios TI.

Resumen: Gerente General – Consultor TIC y experto en sistemas de Despacho.

- Wilson Urrutia: Ingeniero Informático - UTFSM e Ingeniero Civil Industrial - UNAP. Consultor con más de 15 años de experiencia en servicios y productos de Tecnología de Información (TI) y Telecomunicaciones para la industria minera.

Resumen: Jefe de ingeniería – arquitecto.

- Patricio Angelini, Ingeniero Civil Bioquímico - PUCV y Magister en Ingeniería Informática - UTFSM. Arquitecto con más de 15 de años de experiencia, experto en tecnologías JBoss y WebLogic. Experto en relevamiento de requerimientos; dimensionamiento, análisis, diseño. Experiencia en minería, retail, banca y alimentos.

CALIDAD TEKMIN

3. Para la implantación de la tecnología indique si se requiere modificación de partes, cambios estructurales, intervención de circuitos de control o cualquier modificación al

camión según su estado de fábrica. Describa los cambios se requieren durante la implementación.

Respuesta:

Para la instalación del sistema no se necesita hacer modificaciones estructurales del estanque de combustible u otra parte del equipo minero. Para instalar el sensor de combustible se utiliza uno de los accesos disponible que existe en el estanque, mientras que el dispositivo electrónico de control puede ser instalado tanto en exterior como en el interior del CAEX.

4. ¿Cuenta su tecnología alguna certificación?

Respuesta:

Todo el equipamiento tiene índice de protección industrial IP67 y trabajo en rangos de radiación electromagnética permitidos y certificados.

5. En base a las pruebas realizadas en laboratorio o terreno, ¿cuál es la precisión de medición de nivel de combustible en la cual opera la tecnología?

Respuesta:

El resultado de las pruebas realizadas en terreno en camiones de extracción durante un proyecto piloto controlado durante ocho meses, arrojo un error en la medición inferior al 1%. El sensor de combustible tiene una precisión de 1 mm.

PERFORMANCE TEKMIN

6. ¿Su tecnología ha sido validada e implantada en flotas de camiones de extracción en el mercado nacional o exterior? Indique cliente, operaciones y fechas del proyecto ejecutado.

Respuesta:

Si, se realizó un proyecto piloto en minera Los Pelambres donde se probó la tecnología durante 2 meses controlados.

Los beneficios por mes registrados fueron los siguientes:

- Disminución del tiempo perdido en detenciones no programadas en un 9,26 %.
- Aumento en la utilización efectiva del equipo en un 1,20 %.
- Aumento tonelaje cargado en un 1,17 %.
- Aumento tonelaje cargado en 2409 Ton.
- Aumento en el número de ciclos de carga a 8,03.
- Disminución de rellenos innecesarios de combustible:
 - 70% de los rellenos se realizaron con más de un cuarto de estanque lleno.
 - 12% de los rellenos se realizaron con más de la mitad de estanque lleno.
- Disminución de llenados tardíos:
 - 30% de los rellenos se realizaron con menos de un cuarto de estanque lleno.
- No se consideraron en este análisis los beneficios indirectos que el sistema produce:
 - Aumento de ciclos de carga debido al relleno eficiente de combustible.
 - Cuidado de los componentes mecánicos del camión de extracción.
 - Control de la cantidad informada por el proveedor de combustible.

7. ¿Qué sistema utiliza para monitorear en línea el nivel de combustible de cada uno de los CAEX? Explique componentes y detalle aspectos de hardware, software y comunicación de datos.

Respuesta:

El sistema utilizado para el monitoreo en línea depende de la preferencia del cliente, se puede utilizar la red disponible en el rajo, la red de celular si existe, se puede implementar un sistema de portales exclusivos para la transmisión de esta señal, etc. Va a depender de la faena donde se realice la prueba que sistema de comunicaciones se utilizara.

Los datos son enviados a una base de datos para ser desplegados en la interfaz gráfica a la cual el cliente tiene acceso a través de un portal disponible en internet.

Hardware en equipos de campo:

- En cada equipo se instalará un sensor de nivel de combustible para la medición.

- No interfiere el funcionamiento de otros equipos inalámbricos que operen en el equipo.

Características:

- Basado en sistema de medición TDR (Time Domain Ref), usado en entornos industriales para medir niveles de líquidos.
- Bajo nivel de mantenimiento.
- No requiere calibración.
- Longitud de la varilla: 1800 mm.
- Porcentaje de error de las mediciones inferior al 1%.
- Norma de protección industrial IP67.

Sistema de Comunicaciones y dispositivos electrónicos de control:

- Obtiene una medición cada 5 minutos (programable).
- Almacenar histórico de mediciones.
- Permite agregar otro tipo de sensores.
- Sistema inalámbrico de comunicaciones para el envío de datos.
- Sistema inalámbrico de comunicaciones para la recepción de información.
 - * Envío de información mediante tecnología GPRS, en tiempo real
 - ** Envío de información mediante la red Wi-Fi de la faena, en tiempo real
 - *** Envío de información mediante red Wi-Fi a concentrador ubicado en un sector fijo donde pasen los camiones en forma regular (en este caso la información no es en tiempo real)
- Norma de protección industrial IP67.

Software plataforma de monitoreo de combustible:

- En servidores en la nube o en data center se puede implementar la plataforma en web.
- Diseño Responsive multiplataforma.

Características:

- Seguimiento, identificación del equipo y nivel de combustible.

- Semáforos según nivel de combustible.
 - Gráfica de nivel de combustible por turno.
 - Alarma de bajo nivel de combustible (email, sms, pantalla).
 - Consultas de información histórica y por turnos, generación de reportes e indicadores.
 - Exportación a diferentes formatos.
 - Permite la integración con otros sistemas, como sistema de despachos de flotas mineras. Asignación a la petrolera más cercana.
8. Detalle los cambios requeridos en el CAEX para la instalación de su tecnología. ¿Qué tiempo se requiere para realizar estos cambios?

Respuesta:

No se requiere realizar cambios, el sensor se instala en uno de los accesos disponibles del estanque de combustible y la electrónica se puede instalar sobre el gabinete que está detrás de la cabina o sobre alguna de las vigas del chasis.

9. Indique la disponibilidad y facilidad de mantenimiento. Respalde esta información con documentación y estudios técnicos en caso de haberlos.

Respuesta:

Durante todo el tiempo que duro la prueba piloto el dispositivo no presento problemas atribuibles a fallas de fábrica o del uso normal del equipo, por lo que la disponibilidad registrada fue superior al 99%.

10. Existe alguna probabilidad de falla en el hardware o software asociado al nuevo sensor donde se presente algún tipo de desviación (obstrucción física, ruido, interferencia u otro) que impida una adecuada medición del nivel del combustible.

Respuesta:

Las fallas asociadas a la electrónica durante el proyecto piloto fueron causadas por terceros, y tuvieron que ver con la alimentación eléctrica del equipo cuando se produjo un cambio de cabina en el equipo de extracción. Debido a lo anterior, se incorporó al

diseño una fuente auxiliar que permite contar con energía de respaldo y generar una alarma al software de mantenimiento cuando pierde la fuente de energía principal.

11. ¿Cuál es la vida útil de cada sensor? Existen condiciones internas del estanque o externas (temperaturas o partículas) por las cuales el sensor puede presentar inconvenientes o disminuir su vida útil. ¿Necesita un mantenimiento especial debido a esto?

Respuesta:

El sensor es de combustible, específicamente petróleo, por lo que necesita ser usado en esas condiciones. El producto es relativamente nuevo y los actualmente utilizados llevan 5 años sin presentar fallas.

Las fallas asociadas al sensor tienen que ver con eventos donde la estructura del estanque sufre daños, ejemplo: desprendimiento de rompe olas.

12. ¿Qué ofrecen en caso de desperfecto? ¿Con que tipo de garantías cuenta el producto?

Respuesta:

El sensor cuenta con una garantía de 1 año ante fallas de fábrica y/o desgaste natural por el uso normal del equipo sin la acción atribuible a terceros, donde se procede a realizar el cambio del equipo.

SERVICIOS TEKMIN

13. ¿Cuál es el tiempo de instalación y montaje de la tecnología en cada camión de extracción?

Respuesta:

La instalación del sistema completo en su versión básica (sensor de combustible, dispositivo electrónico de control e implementación del software de gestión y control) tarda 4 horas.

14. ¿Su empresa proporciona la instalación y el mantenimiento de la tecnología que ofrece? Describa el servicio técnico post-venta que entrega.

Respuesta:

Si, nuestra empresa presta el servicio completo de provisión, instalación y mantenimiento tanto de los dispositivos en los equipos mineros como de la base de datos y software de monitoreo de combustible.

Adicionalmente, también disponemos de un servicio opcional de mantenimiento en terreno de la plataforma de monitoreo de combustible, con el propósito de entregar un servicio más presencial y proactivo, basado en un equipo de: supervisor técnico, asesor en prevención de riesgo y administrador de contrato, que permita asegurar una disponibilidad del sistema frente a cualquier imprevisto.

El equipo de mantenimiento considera la siguiente estructura:

Mano de obra	Cantidad
Supervisor Técnico de Mantenimiento (*) 1	1
Asesor Prevención de Riesgo (**) 1	1
Asesor Prevención de Riesgo (**) 1	1

Tabla 13. Equipo empresa Tekmin

Notas;

(*) Se considera un técnico en modalidad 4x3 solo de día.

(**) Se considera 2 visitas mensuales en turno 4x3.

Descripción de funciones de cada integrante del equipo:

- Supervisor técnico de mantenimiento: La mantención del sistema contempla diferentes tareas enfocadas en asegurar su correcto funcionamiento y verificar puntos clave para obtener un óptimo rendimiento. Se muestra a continuación un listado con las tareas específicas por desarrollar:
 - Revisar estatus de dispositivos
 - Cambio de equipos
 - Detección y diagnóstico de Fallas
 - Resolución de problemas
 - Revisión funcionamiento plataforma de monitoreo

- Asesor en prevención de riesgo: Técnico en prevención de riesgos, con registro del Seremi de Salud, encargado de la coordinación, gestión y control de los riesgos operacionales del servicio en terreno, las principales tareas son:
 - Coordinación de actividades de seguridad
 - Asesorar al equipo en la gestión de los riesgos operacionales
 - Preparación de formulario mensual E-200
 - Cumplimiento protocolos y procedimientos de seguridad

Administrador de contrato

- Coordinación de requerimientos
- Administración de contrato y actividades de seguridad
- Apoyo en proyectos
- Revisión del servicio

15. ¿Con qué tipo de modelo de servicio cuenta su empresa para la venta de esta tecnología? Venta de componentes (pago de una vez), pago mensual por servicio de monitoreo, otro. Detallar las opciones disponibles.

Respuesta:

Para la venta, instalación e implementación de la plataforma de monitoreo de combustible, se cuenta con los siguientes ítems:

Ítem	Descripción
Dispositivos de Monitoreo	La forma de pago es del 100% del total de dispositivos, al momento de la recepción de éstos en bodega del cliente
Instalación	Se dispone de formas de pago: <ul style="list-style-type: none"> • La forma de pago corresponde al 100% de la bolsa de días de instalación contratados, pagadas en cuotas mensuales • La forma de pago corresponde al pago sobre el avance mensual de equipos instalados sobre el total de equipos mineros
Licencia	La forma de pago corresponde a un pago anual por faena por la licencia de uso del software de la plataforma de monitoreo
Mantenimiento Correctivo	La forma de pago corresponde a un pago por cada evento donde se requiera realizar un mantenimiento correctivo.
Mantenimiento en terreno	La forma de pago es mensual

Tabla 14. Venta, instalación e implementación Tekmin

RESPUESTAS AIKOLOGIC CUESTIONARIO CODELCOTECH

EXPERIENCIA Y EXPERTICIA AIKOLOGIC

1. ¿Su tecnología está disponible comercialmente? ¿Su tecnología ha sido comercializada en el extranjero y/o en Chile? De ser así detallar cantidad de productos o servicios comercializados y descripción de los clientes. ¿Ha tenido clientes en la industria minera? Detalle sus respuestas.

Respuesta:

Si, nuestra tecnología está disponible comercialmente y actualmente la estamos comercializando localmente en la industria Minera Chilena e iniciando procesos de difusión y de negocios en el mercado Brasileño. En Perú ya están definiendo las condiciones comerciales para realizar el piloto en mina Cuajones, de Southern Perú.

Nuestras primeras experiencias de aplicación se desarrollaron a partir del año 2015 localmente. En este año se iniciaron las pruebas piloto de nuestra tecnología, en CAEX Komatsu 930E de la empresa

Anglo American, para su faena Los Bronces en la Región Metropolitana. Luego de demostrar el buen funcionamiento de nuestra Plataforma de Monitoreo de Consumo de Combustible “Fuel Explorer” comenzamos el proceso de instalación del sistema en la totalidad de los 51 CAEX de la flota 930E y 2 de CAEX 960E. Actualmente estamos iniciando el proceso de instalación de los sistemas de medición en 5 equipos nuevos Komatsu 930E, los que han sido incorporados recientemente a la flota de Los Bronces.

Los resultados obtenidos de la aplicación de nuestra tecnología en los CAEX de Los Bronces, ha redundado en la disminución del TONP (Tiempo Operativo No Productivo) toda vez que se han disminuido los tiempos totales destinados al reabastecimiento de combustible en los equipos y además, eliminado completamente los atochamientos en la ruta, producto de los equipos que quedan detenidos producto de la falta de combustible. Todo lo anterior a generando aumentos en la productividad (transporte de material adicional) que ha sido cuantificado por la Minera, como el material que hubiese sido

factible de transportar en un año, si es que la flota hubiese contado con un CAEX adicional.

2. Describa la experiencia de su personal que típicamente participa en servicios de instalación, operación y / o mantenimiento. Puede indicar roles (por ejemplo, director, supervisores y técnicos), calificaciones, años de experiencia y deberes principales desempeñados en dichos proyectos. Puede agregar CV del personal indicado.

Respuesta:

El staff de ingenieros de AikoLogic, cuenta con una experiencia media en el desarrollo de los proyectos de innovación e implementación de tecnologías desarrolladas por nuestra compañía, de 4 años.

Dicho staff está integrado por Ingenieros en Automatización, Ingenieros Electrónicos e Ingenieros de Sistemas. En el caso de nuestra Plataforma “Fuel Explorer” el staff está integrado por:

- Tiago Pereira: Gerente de R&D, Director de Proyectos, profesional con 13 años de experiencia en el desarrollo de sistemas para la industria minera, 8 de los cuales los ha desarrollado en la industria minera chilena.
- Patricio Rodríguez: Logística y Supervisión en de Terreno, profesional del área Administrativa con 8 años de experiencia en apoyo logístico a personal de terreno en empresa ligadas al sector minero nacional.
- Alberto Parra: Ingeniero de Campo, profesional del área de ingeniería en Automatización, con 8 años de experiencia en empresas de servicios ligadas al sector minero nacional.
- Pedro Durán, Ingeniero Civil Electrónico con 5 años de experiencia en el desarrollo de soluciones electrónicas y, específicamente, 2 años de experiencia en el desarrollo de Fuel Explorer. El participa como Ingeniero Analista Senior, a cargo del análisis de las desviaciones en la operación de los equipos, teniendo como responsabilidad la mejora continua del producto electrónico.

CALIDAD AIKOLOGIC

3. Para la implantación de la tecnología indique si se requiere modificación de partes, cambios estructurales, intervención de circuitos de control o cualquier modificación al camión según su estado de fábrica. Describa los cambios se requieren durante la implementación.

Respuesta:

Desde el punto de vista del hardware que será instalado en el CAEX, Aiko ha desarrollado un diseño de carácter “no invasivo”, que asegura que las garantías proporcionadas al cliente final por el fabricante de estas unidades, no se van afectadas de ninguna manera. Esto implica que la instalación de la tecnología no involucra cambios estructurales de ningún tipo en los equipos, más allá de instalar en forma externas, Hardware de adquisición de datos y elementos de protección y canalización de cables de datos entre el estanque y la cabina del operador del CAEX.

Los trabajos a desarrollar son:

- Instalación de pletinas de soporte para Conduit rígido utilizado en protección de cable de datos de unidad LCU, ambos en superficie exterior de la base del estanque
- Instalación de caja de derivación en costado lateral interior de estaque de combustible
- Instalación de unidad de LCU, la cual se adhiere a la superficie externa del estanque por medio de estructura de protección que cuenta con imanes de neodimio.
- Instalación de conduit flexible en chasis del CAEX, entre estanque y cabina del operador, para canalizar y proteger cable de datos.
- Instalación de router 3G y antena en cabina de CAEX

4. ¿Cuenta su tecnología alguna certificación?

Respuesta:

No.

5. En base a las pruebas realizadas en laboratorio o terreno. ¿Cuál es la precisión de medición de nivel de combustible en la cual opera la tecnología?

Respuesta:

De acuerdo con las mediciones de laboratorio, la precisión tiene un error o desviación del 2 %.

PERFORMANCE AIKOLOGIC

6. ¿Su tecnología ha sido validada e implantada en flotas de camiones de extracción en el mercado nacional o exterior? Indique cliente, operaciones y fechas del proyecto ejecutado.

Respuesta:

La tecnología desarrollada por Aiko para el “Monitoreo de Consumo de Combustible para CAEX Mineros”, denominada “Fuel Explorer” ha sido implementada y validada en Chile por la compañía Anglo American, empresa que ha decidido incorporarla en la totalidad de los CAEX mineros de la Flota que opera en faena Los Bronces.

El proyecto comenzó a ejecutarse a mediados del 2015 con la correspondiente prueba piloto y a implementarse en etapa de productivo a contar del año 2016 hasta la fecha. En la actualidad, el proyecto se ha expandido a los nuevos CAEX 930E que están integrando la flota a contar de fines de presente año 2017.

7. ¿Qué sistema utiliza para monitorear en línea el nivel de combustible de cada uno de los CAEX? Explique componentes y detalle aspectos de hardware, software y comunicación de datos.

Respuesta:

La tecnología Fuel Explorer está integrada por el hardware de adquisición de datos denominado LCU (Local Compute Unit) y el software de almacenamiento, administración y control de la información generada denominado Fuel Explorer.

La unidad LCU, es en la práctica un sonar, que emite un pulso de ultrasonido que permite determinar la altura de columna del combustible residente al interior del estanque del

CAEX minero, sumado a una electrónica que cuenta con la capacidad de controlar, digitalizar, almacenar y compensar el dato obtenido a través del sonar, enviándolo a través de cable de datos desplegado en el CAEX, hasta la cabina del operador, desde donde será transmitido en forma remota hasta el servidor del sistema. Luego el dato es almacenado y procesado por el Software Fuel Explorer, para su administración y visualización en pantallas HMI especializadas. Pudiendo además dicho software, alimentar el Sistema de Despacho empleado por la mina (Modular, Jigsaw, etc), de modo de lograr una integración sinérgica con los sistemas existentes.

Las estrategias de transmisión del dato generado a partir de la unidad LCU, son variadas y depende del estado del arte de la comunicación disponible la faena minera de turno. Es así como es factible transmitir el dato a través de la Red Mina, en caso que ésta esté implementada en la faena o bien por medio de 3G, en caso que haya una buena cobertura de las empresas proveedoras. Así mismo, se factible implementar estrategias de comunicación mixtas, integradas por puntos estratégicos de descarga de datos en zonas de a faena en la que estén disponibles Access Points o bien comunicación M2M (Machine to Machine), en la que todos los equipos comparten la información generada asociativamente y el primer CAEX en salir a una zona iluminada, descarga su propia información así como la de todos los equipos con los que estuvo en contacto.

8. Detalle los cambios requeridos en el CAEX para la instalación de su tecnología. ¿Qué tiempo se requiere para realizar estos cambios?

Respuesta:

En términos de cambio de tipo estructural en los CAEX en los que sea implementada la tecnología Fuel Explorer, no se deben realizar modificaciones o intervenciones en la estructura de los vehículos. Sólo se trabaja en forma externa, instalando básicamente pletinas de soporte de conduit rígido y conduit flexible, en estanque y chasis respectivamente. Adicionalmente se instala una caja de derivación, un equipo de transmisión 3 G y una antena en la cabina del operador.

El tiempo estimado de intervención en cada CAEX es del orden de las 4 a 5 horas hábiles efectivas.

9. Indique la disponibilidad y facilidad de mantenimiento. Respalde esta información con documentación y estudios técnicos en caso de haberlos.

Respuesta:

El acceso al mantenimiento de la unidad LCU, en caso que ésta presente algún problema, es bastante simple debido a que la unidad ha sido diseñada para ser montada y desmontada con facilidad desde su zona de implementación (cara exterior de la base del estanque de combustible). Lo anterior es debido a que la unidad LCU cuenta con una estructura exterior de protección y montaje por medio de imanes de Neodimio, que permite su desmontaje y consecuente acceso a la LCU en forma rápida y eficiente. Luego la unidad LCU cuenta con una tapa trasera de acceso a la electrónica que la integra, que permite hacer las pruebas de rigor para determinar el problema existente y proceder consecuentemente a su reparación o reemplazo, según sea el caso.

Así mismo, es posible hacer diagnósticos remotos de la unidad LCU a través de VPN o bien a través de su conexión 3G (según sea el caso) que permita resolver el problema en forma remota o bien determinar el reemplazo de la LCU.

10. Existe alguna probabilidad de falla en el hardware o software asociado al nuevo sensor donde se presente algún tipo de desviación (obstrucción física, ruido, interferencia u otro) que impida una adecuada medición del nivel del combustible.

Respuesta:

No, la tecnología de sonar ha sido en extenso probada, en diferentes industrias, además el dato digitalizado, elimina toda posibilidad de que la señal sea afectada por ruido electromagnético otros factores que la pudieran afectar.

Con relación a condiciones físicas que pudieran generar obstrucciones al paso del pulso de ultrasonido generado por el sonar, que no permitieran una lectura completa de la altura de columna de combustible al interior del estanque, estos se evitan con una prueba preliminar previa a la definición del punto de instalación, que consiste en medir el libre tránsito del pulso asegurando un punto libre de obstrucciones. Luego de lo cual se procede a la instalación de la unidad LCU.

11. ¿Cuál es la vida útil de cada sensor? Existen condiciones internas del estanque o externas (temperaturas o partículas) por las cuales el sensor puede presentar inconvenientes o disminuir su vida útil. ¿Necesita un mantenimiento especial debido a esto?

Respuesta:

La vida útil de cada sensor se estima entre los 24 a 36 meses. Se debe tener cuidado de no exponer el sensor a condiciones de humedad extrema, léase sumergirlo en líquidos por un tiempo prolongado. Siempre es conveniente tener un programa de mantenimiento que asegure la revisión física y condición de operación de la unidad LCU cada 2 o 3 meses de operación.

12. ¿Qué ofrecen en caso de desperfecto? ¿Con que tipo de garantías cuenta el producto?

Respuesta:

La unidad LCU instalada directamente en el exterior del estanque cuenta con una garantía de 6 meses por fallas propias del equipo o de su instalación e implementación en el CAEX. La garantía no cubre daños provocados por una manipulación errónea de la unidad LCU

SERVICIOS AIKOLOGIC

13. ¿Cuál es el tiempo de instalación y montaje de la tecnología en cada camión de extracción?

Respuesta:

El tiempo de instalación y montaje de la tecnología en los CAEX es en promedio de 4 a 5 horas. Luego de su instalación física se realizan pruebas de comunicación y labores de integración de la unidad a la plataforma Fuel Explorer para la administración y visualización de los datos.

14. ¿Su empresa proporciona la instalación y el mantenimiento de la tecnología que ofrece? Describa el servicio técnico post-venta que entrega.

Respuesta:

Si, nuestra compañía opera en dos modalidades de instalación:

- Modalidad de instalación 1: Durante la instalación de la unidad correspondiente a la Prueba Piloto, personal técnico Aiko, procederá a adiestrar a personal Técnico del cliente (DGM) en el procedimiento y practica de instalación de las partes y piezas que integran el hardware que debe ser desplegado en el CAEX. El adiestramiento es sin costo para el cliente y su personal quedará capacitado para instalar las unidades LCU en los CAEX del productivo final.
- Modalidad de instalación 2: Aiko se hará cargo de la instalación de las unidades LCU en los CAEX durante la fase productiva del proyecto, y los gastos de traslado del personal Aiko desde Santiago/Calama/Santiago, así mismo como su alojamiento, alimentación y traslados internos en faena, durante todo el tiempo que dure la implementación, considerado jornadas de trabajo 4x3, serán de responsabilidad del cliente final (DGM).

El servicio de mantenimiento de la tecnología se proporciona por medio de un contrato de mantenimiento entre las partes, que considera la revisión periódica de la unidad LCU vía VPN, con el fin de asegurar el buen funcionamiento de su electrónica de adquisición de datos y visitas técnicas presenciales programadas en periodos de cada dos o tres meses, en las que personal Aiko hará inspecciones visuales y física de la instalación del sistema en el CAEX, corrigiendo posibles problemas que pudiese presentar la instalación.

El servicio post-venta, consiste en un Hot Line en horario hábil en días de semana entre las 9:00 y las 18:30 horas, enfocado en resolver consultas, dudas y requerimientos de los usuarios del sistema y situaciones con el software de administración y control Fuel Explorer, vía VPN.

15. ¿Con qué tipo de modelo de servicio cuenta su empresa para la venta de esta tecnología? Venta de componentes (pago de una vez), pago mensual por servicio de monitoreo, otro. Detallar las opciones disponibles.

Respuesta:

Aiko, contempla la de venta CAPEX según se detalla a continuación:

Venta CAPEX: en el caso de CODELCO, AIKO ha definido una política de precios especial que subvenciona el valor de lista del sistema que es de USD 8500 + IVA por CAEX integrado a la Plataforma y hemos definido un valor diferenciados para todas las faenas y operaciones con interés en la integración de sus CAEX y equipos mina en general, a la tecnología Fuel Explorer:

- Costo del sistema bajo la modalidad de instalación estructural solidaría al estanque de combustible, pegada con adhesivos industriales Heavy Duty:
 - USD 4.500 + IVA por CAEX
- Costo del sistema bajo la modalidad de instalación desmontable con sistema de imanes de Neodimio:
 - USD 5.200 + IVA por CAEX
- El costo de instalación por CAEX: todos los gastos de traslado desde Santiago/Faena/Santiago más los gastos de alojamiento, alimentación y traslado interno serán de cargo del cliente final mientras dure el proceso implementación.
- Los valores señalados incluyen todos los elementos de ferretería utilizados en la instalación, como Conduits flexibles y rígidos, caja de derivación, conectores, etc.

RESPUESTAS TARCO CUESTIONARIO CODELCO TECH

EXPERIENCIA TARCO

1. ¿Su tecnología está disponible comercialmente? ¿Su tecnología ha sido comercializada en el extranjero y/o en Chile? De ser así detallar cantidad de productos o servicios comercializados y descripción de los clientes. ¿Ha tenido clientes en la industria minera? Detalle sus respuestas.

Respuesta:

Somos una empresa especializada en integración de nuevas tecnologías para la minería. Llevamos más de 4 años ofreciendo soluciones específicas, entre las que se encuentra la solución de automatizar la carga de combustible y el monitoreo de combustible de los CAEX. Dentro de nuestros Clientes destacan las principales Mineras del país, como Anglo American, Collahuasi, y BHP Billiton (Minera Escondida). Con esta última hemos

ganado licitaciones para desarrollar clusters de desarrollo en diferentes ámbitos que involucran integración tecnológica en procesos productivos.

Además, contamos con un equipo de profesionales que dan soporte, mantención y apoyo continuo a nuestros clientes. La tecnología de monitoreo de combustible está actualmente disponible en Chile. Es una solución, que por su alto nivel de innovación y aportar al concepto de minería inteligente controlando los niveles óptimos de la reserva de combustible del CAEX, fue premiada por CORFO.

KOMATSU, que buscaba una solución para optimizar el llenado de los estanques de combustible de los CAEX, aprobó nuestra tecnología y realizó una experiencia piloto sobre 2 camiones en una importante faena minera de la IV Región. Los resultados fueron los siguientes:

- Aumento de disponibilidad y utilización de CAEX en faena.
- En una flota de 50 camiones, permite el ahorro de un camión, lo que es un aumento de 2% rendimiento de flota (considerando USD 1000/hora uso camión OPEX-CAPEX).
- Resuelve problema de medición del sistema de llenado rápido VR300.
- Plataforma de monitoreo de flota, permite tracking de los CAEX tiempo real (nivel de combustible, viajes, velocidad, geo-cerca, hora de operación, etc.)
- Alarmas de nivel crítico configurables de stock de combustible (graficas de fácil visualización).
- Disminución del número de llenados en caso real desde 32 a 21 veces (significando menos detenciones, viajes, bloqueos, etc).
- Sistema confiable para auditar recargas y consumo de combustible (datos históricos por flota, utilizables para control y planificación).
- Entrega horas efectivas de motor para planificar mantención.
- Mejora la sustentabilidad ambiental del proceso (menos derrames, neumáticos, y otros).

Las conclusiones de este Piloto fueron evaluadas - por el Sr. Pablo González - Gerente de Operaciones Komatsu South América y su equipo de PSG a cargos de las distintas faenas.

Esta evaluación en palabras textuales del Gerente de Komatsu y su equipo se resumió en: “En conclusión, aunque Komatsu no garantiza la operatividad y confiabilidad de ningún sistema no fabricado por Komatsu, podemos confirmar que el sistema PCR1000 no presenta limitantes técnicas que afecten el correcto funcionamiento del camión y que puedan significar un impedimento para ser implementado en camiones Komatsu. Además se presenta como una alternativa viable para la gestión de rellenos de estanques de combustible”. Pablo González – EDT Manager Komatsu

2. Describa la experiencia de su personal que típicamente participa en servicios de instalación, operación y / o mantenimiento. Puede indicar roles (por ejemplo, director, supervisores y técnicos), calificaciones, años de experiencia y deberes principales desempeñados en dichos proyectos. Puede agregar CV del personal indicado.

Respuesta:

- R. MARCELO RAMIREZ P. Director de Wsdata3D, con amplia trayectoria en Industria minera: gerente en Minera Escondida, Gerente General y de finanzas respectivamente de SGS Chile y CIMM.
- PABLO GAETE MAUREIRA, Experto en Conectividad y Redes, además de Automatización. Empresario, y fundador de PC REDES, además de Líder del Equipo Inventor del Sensor de Combustible para CAEX (PCR 1000). A través de TARCO-PCREDES, ha sido Soporte Técnico de Empresas Proveedoras de Internet (TELCO), posee Certificación D-Link & CISCO. Forma parte de la red de trabajo de empresas tales como ORBCOMM y POSITION LOGIC.
- MAURICIO MELO H., Ingeniero Senior Wsdata3d, experto en integración tecnológica. Jefe de proyecto del sistema robotizado de carga de combustible implementado en MEL, participo como integrador de sistemas en proyecto telemetría para monitoreo de tranques (batimetría). Certificación Profesional Microsoft.

CALIDAD TARCO

3. Para la implantación de la tecnología indique si se requiere modificación de partes, cambios estructurales, intervención de circuitos de control o cualquier modificación al

camión según su estado de fábrica. Describa los cambios se requieren durante la implementación.

Respuesta:

Sólo se requiere de una perforación de 12 cm en la parte superior para el sistema de anclaje que soportara todo el sistema físico de protección al sensor. Cabe destacar, que el protocolo de esta operación se encuentra revisada validada, probada y certificada de acuerdo a un plan de manejo presentado a KOMATSU; siendo de las pocas empresas en el mundo que cuentan con esta aprobación de intervención al estanque.

Incluso, dado los requisitos exigidos por la misma marca KOMATSU, el sistema fue creado de tal forma de no afectar la garantía del camión, siendo una exigencia fundamental para fijar la pieza al estanque - que esta no fuese soldada, ni sometida a altas temperaturas que afecten su garantía.

Por ello, la pieza consta además de un sistema de anclaje robusto que se autoajusta al estanque, permitiendo una sólida y segura fijación al mismo. Luego, no hay cambios estructurales, ni menos intervenciones de circuitos de control – ni tampoco, es invasiva – y mucho menos, afecta otros sistemas del camión, pues es independiente – con su propia plataforma que se puede integrar si es necesario.

Los atributos del dispositivo son:

- Proteger el sensor del impacto del llenado de fluidos a alta presión.
- Medir con precisión los niveles de fluidos en “grandes” estanques con geometría irregular, e incluso en terrenos con acentuadas pendientes.
- Capacidad de conectividad satelital / GPRS instalada, la que, además de entregar la información del nivel de combustible en tiempo real, es aprovechable para la transmisión de otros datos.
- Sistema extremadamente robusto, capaz de soportar sin problemas la rigurosidad de la operación minera. Factores como temperaturas extremas (tanto bajas como altas), altura geográfica, vibraciones, polvo etc.
- Sistema de anclaje capaz fijar la pieza al estanque sin el uso de mayores perforaciones y no requiere de ser soldado al estanque.

Asimismo, el servicio se puede proveer:

- Directamente en Plataforma PCR 1000 – independiente de otras Sistemas, y para ello TARCO desarrolló una plataforma propia que permite visualizar, recibir los reportes y alarmas respectivas en una forma absolutamente iconográfica.
- Como Input (nivel de combustible) Integrado a otras Plataformas, tales como Dispatch (*) ya, sea, a través de la puerta RS 232 provisto por TARCO Spa, y en 4 20 MA para camiones autónomos, en el caso de Gaby.

(*) Dispatch, la conexión al mismo debe ser gestionada por el propio cliente.

4. ¿Cuenta su tecnología alguna certificación?

Respuesta:

Si, se adjunta documentación. No obstante esta documentación, un tema de valor es que en la prueba ejecutada por KOMATSU, este fabricante de CAEX - a través de su Gerencia de Operaciones validó nuestro dispositivo para efectos de llenados óptimos y control de consumo, según lo descrito anteriormente.

Asimismo, esta solución ha sido tanto reconocida por CORFO, FUNDACION CHILE, – como también, ha sido publicada en portales de minería como caso de desarrollo de éxito, y muy especialmente, reconocida por la empresa ORBCOMM, como una solución que potencialmente aporta al ROI de las empresas.

Propiedad Intelectual:

Además de contar con registro de patente ingresado en USA, CHILE, JAPON y PERU.

- Fecha ingreso: 02 de diciembre del 2014.
- N° Solicitud: PCT/CL2014000068.
- Etapa: Opinión escrita confirma posibilidad de patentabilidad.

5. En base a las pruebas realizadas en laboratorio o terreno, ¿cuál es la precisión de medición de nivel de combustible en la cual opera la tecnología?

Respuesta:

El margen de error es inferior al 1%, teniendo la particularidad que nuestra solución contiene un algoritmo que considera el factor movimiento, a diferencia de las mediciones ultrasónicas, como también un dissipador de presión para evitar los falsos positivos.

PERFORMANCE TARCO

6. ¿Su tecnología ha sido validada e implantada en flotas de camiones de extracción en el mercado nacional o exterior? Indique cliente, operaciones y fechas del proyecto ejecutado.

Respuesta:

El sistema fue implementado por KOMATSU 2013-2014; en la Minas Los Pelambres, y previo a lo mismo, se debió enviar la memoria de instalación y el documento de propiedad intelectual, que acreditarán la confiabilidad de la instalación a ejecutar, como también se ejecutó un proceso de validación - tanto para Chile y USA, sobre lo mismo. Una vez instalados, los resultados y CONCLUSIONES de KOMATSU fueron las siguientes:

- Factibilidad técnica: Interactúa adecuadamente con el camión y se cuenta con una plataforma práctica y amigable con alarmas e informes que facilitan el estudio y mejora de la productividad.
- Flexibilidad: el sistema puede ser aplicado en distintos equipos.
- Precisión: “A juzgar por las gráficas históricas, el comportamiento lineal y estable de la medición, no se observan problemas asociados a la precisión de la medición”.
- Confiabilidad: durante el periodo de prueba, el sistema no presento fallas que afectaran la confiabilidad del sistema. El mecanismo de medición y la plataforma se observan bastante robustos.
- Escalabilidad: se debe considerar la interacción en la plataforma en una flota completa, a fin de facilitar la visualización y gestión sobre el nivel del estanque.
- Mantenibilidad: La habilitación del sistema en el equipo solo presenta complejidad en la instalación del mecanismo de medición en el estanque. Una vez montado en el equipo el sistema no requiere mayor mantenimiento.

7. ¿Qué sistema utiliza para monitorear en línea el nivel de combustible de cada uno de los CAEX? Explique componentes y detalle aspectos de hardware, software y comunicación de datos.

Respuesta:

Usamos un sensor a base de resistencia por lo que no cuenta con ninguna pieza móvil que pueda afectarse con las presiones que se generan por la carga hidráulica dentro del estanque. Este sensor es protegido y anclado por un sistema propietario de TARCO, además de contar con sistema de disipación de presión. La comunicación del sensor llega hasta un módulo de procesamiento de datos que filtra y corrige las anomalías propias del movimiento y presión, además de altitud, temperatura e inclinación del CAEX, a través de un acelerómetro.

Esta data se transmite vía GPRS y/o Satelital dependiendo de la geografía de la mina hasta una estación de control en Canadá y se replica a nuestros servidores ubicados en USA y Santiago, garantizando la continuidad del dato, permitiendo que se pueda habilitar un servidor local en las dependencias del cliente para mayor seguridad.

Esta plataforma cuenta con los algoritmos necesarios para rectificar y depurarla la data para darle la precisión que requiere el CAEX.

8. Detalle los cambios requeridos en el CAEX para la instalación de su tecnología. ¿Qué tiempo se requiere para realizar estos cambios?

Respuesta:

Con disponibilidad total, solo 4 horas. Por eso se recomienda realizar la instalación en la parada de mantención de las 1000 horas de operación. Para la instalación no se requiere de mayores cambios, sino que sólo el disponer del estanque vacío.

9. Indique la disponibilidad y facilidad de mantenimiento. Respalde esta información con documentación y estudios técnicos en caso de haberlos.

Respuesta:

El dispositivo no requiere más que una inspección visual trimestral para ello se puede capacitar a un técnico del cliente, o llegar a un modelo de mantención a convenir entre

las partes. Lo anterior, está basado en la documentación entregada en las respuestas anteriores.

10. Existe alguna probabilidad de falla en el hardware o software asociado al nuevo sensor donde se presente algún tipo de desviación (obstrucción física, ruido, interferencia u otro) que impida una adecuada medición del nivel del combustible.

Respuesta:

Si, por falta de conocimiento de los técnicos de mantenimiento lo desconectan de la energía obviamente el dispositivo dejara de mandar la data. Esto se mitiga con capacitación en el periodo de puesta en marcha. Además, el sistema cuenta con la necesaria alarma de parte del sensor en plataforma que indica de esta condición de falla. Nuestra plataforma cuenta con un mecanismo de supervisión de los parámetros de funcionamiento del dispositivo – que en caso de falla o alerta es fácilmente visible. Al ir la pieza dentro del estanque - es muy difícil y remoto que pudiese – dañarse, pues, primero se dañaría el estanque, y lo otro que la misma pieza fue hecha para resistir grandes presiones, por la naturaleza propia de la que fue hecha.

11. ¿Cuál es la vida útil de cada sensor? Existen condiciones internas del estanque o externas (temperaturas o partículas) por las cuales el sensor puede presentar inconvenientes o disminuir su vida útil. ¿Necesita un mantenimiento especial debido a esto?

Respuesta:

Estas condiciones mencionadas no afectan al sensor, respecto a las partículas (borra) que se genera producto de los aditivos no afectan al sensor ya que este no cuenta con piezas móviles que se puedan deteriorar. La obra metal mecánica posee una vida útil de al menos 7 años, y la electrónica de 5 años mínimo.

12. ¿Qué ofrecen en caso de desperfecto? ¿Con que tipo de garantías cuenta el producto?

Respuesta:

Recambio. El cual, es muy fácil ejecución, ya que la pieza viene pre armada y calibrada de fábrica. Se pensó en un modelo plug and play; más aún, en otras circunstancias - se le puede simplemente colocar un tapón provisto por WSDATA – TARCO, en caso de falla mayor, y luego, simplemente cambiar la pieza.

SERVICIOS TARCO

13. ¿Cuál es el tiempo de instalación y montaje de la tecnología en cada camión de extracción?

Respuesta:

Aproximadamente 4 horas, disponiendo del estanque vacío.

14. ¿Su empresa proporciona la instalación y el mantenimiento de la tecnología que ofrece? Describa el servicio técnico post-venta que entrega.

Respuesta:

Modelo a convenir, pues, podemos proveer de un supervisor de instalación, y la empresa minera proveer de 2 técnicos electromecánicos – que operen en la instalación misma, o en su defecto hacernos cargos de la Instalación en su completitud.

En atención a la mantención - existe un monitoreo en línea propio del servicio, la cual es un check de los parámetros básicos de funcionamiento – de la línea de transmisión y del equipo en forma remota.

15. ¿Con qué tipo de modelo de servicio cuenta su empresa para la venta de esta tecnología? Venta de componentes (pago de una vez), pago mensual por servicio de monitoreo, otro. Detallar las opciones disponibles.

Respuesta:

El tipo de servicio puede ser Opex o Capex, dependiendo de los interés de la Minera - lo que mayormente se nos ha solicitado es un servicio mensual por monitoreo, lo cual considera la entrega de una plataforma de monitoreo en línea, con sus respectivo informes y alertas, - además de incluir opcionalmente una pantalla de indicación en la cabina del operador.

La plataforma del PCR 1000 (Pantalla), se construyó pensando en el usuario final. De acuerdo al perfil designado, el usuario puede ingresar vía web, incluso desde dispositivos móviles, donde puede ver la flota completa o individualmente, el indicador de combustible y un semáforo que es programable de acuerdo a los requerimientos de alertas que el cliente designe para el status.

El monitoreo se puede ejecutar directamente desde la plataforma WSDATA3d- TARCO o en su defecto analizar el hecho de proveer la misma a través del proveedor de Dispatch, previo análisis de factibilidad con el proveedor de esta aplicación, cuyo costo de validación u homologación para este caso - es responsabilidad del cliente.

Monitoreo considera: "Plataforma disponible los 365 días del año, 24 hrs., es decir, ello significa":

- Acceso ilimitado plataforma de monitoreo.
- Múltiples usuarios en plataforma con sus respectivos perfiles.
- Equipo en cabina de Indicador de estatus de combustible.
- SLA de disponibilidad de 99% de la plataforma.

Es parte del servicio, un soporte telefónico (sin costo) – en horario hábil de 8.30 hrs a 18.00 hrs, para consultas, procedimientos o apoyo de gestión.