

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería de Sistemas



PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO DE SALUD DE ACTIVOS BASADO EN MACHINE LEARNING APLICADO EN MAQUINARIA PESADA PARA EMPRESAS MINERAS

Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

Christopher Ruben Blanco Ramos

Código 20052497

Sandro Paul Aguilar Vargas

Código 19922007

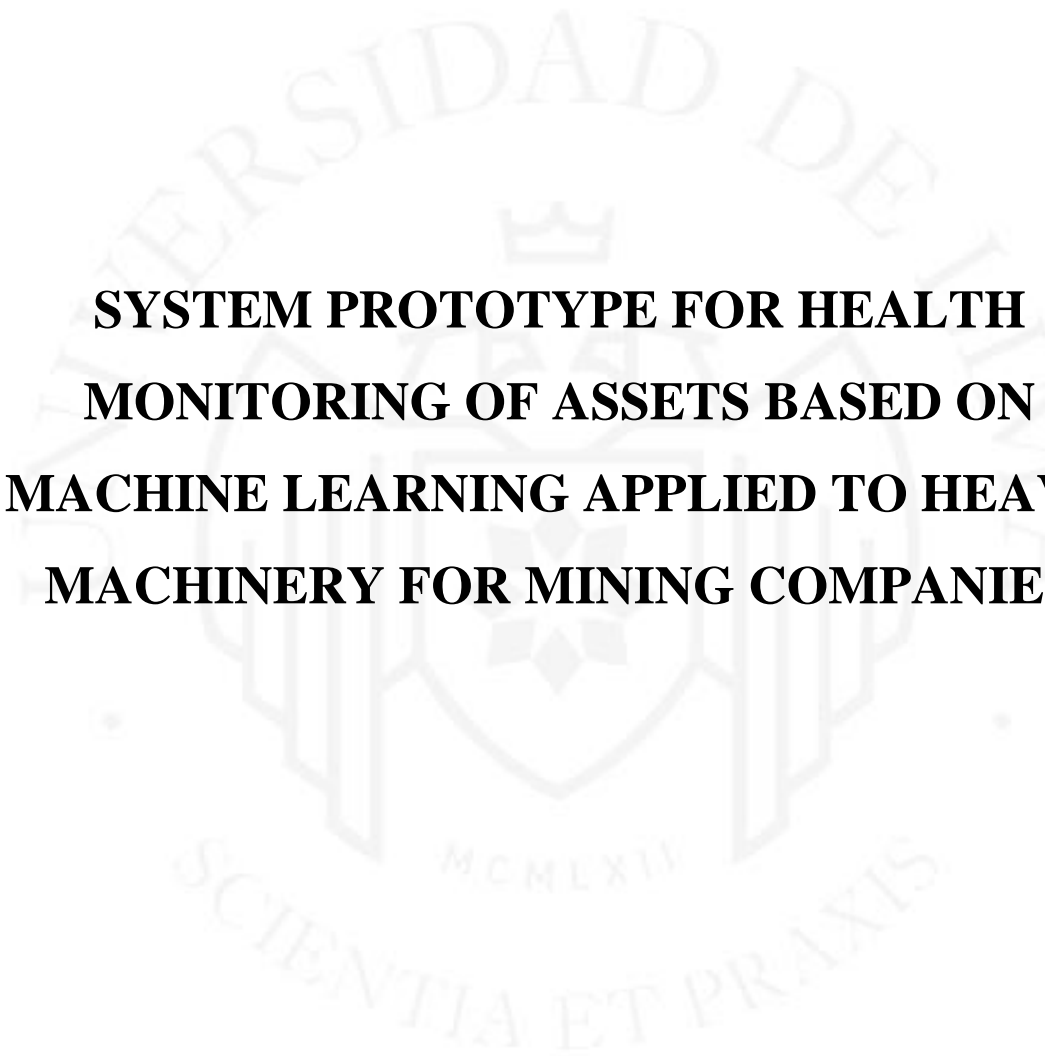
Asesor

Pedro Humberto Saravia Torres

Lima – Perú

Mayo de 2023





**SYSTEM PROTOTYPE FOR HEALTH
MONITORING OF ASSETS BASED ON
MACHINE LEARNING APPLIED TO HEAVY
MACHINERY FOR MINING COMPANIES**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Definición del problema.....	1
1.1.1 Antecedentes	2
1.1.2 Motivación.....	2
1.1.3 Justificación.....	3
1.1.4 Competencia.....	4
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1 Estudio contemporáneo de manejo de la flota y optimización en el ciclo de acarreo7	
2.2 Optimización del ciclo de excavación para palas eléctricas con cable, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética	
2.3 Beneficios de la implementación de un sistema de telemetría para la gestión de las operaciones mineras.....	8
2.4 Gestión del control de maquinaria pesada en obras viales usando tecnologías de la información. (Juan Carlos Torres Estrada - Universidad Nacional De Ingeniería).....	10
2.5 Compactrio: una solución de monitoreo y control en minería	11
CAPÍTULO III: Análisis DE LA NECESIDAD, EL CLIENTE Y EL MERCADO 14	
3.1 Análisis del mercado Potencial	16
3.1.1 Tipo de mina.....	16
3.1.2 Geográfica	17
3.1.3 Idioma.....	18
3.1.4 Tamaño de la flota de acarreo	19
3.1.5 Minerales extraídos por los yacimientos mineros	20
3.2 Segmentación del mercado.....	22
3.2.1 Mercado total disponible (TAM)	22
3.2.2 Exclusión por tamaño de equipo	22
3.2.3 Exclusión por tamaño de flota del ciclo de acarreo.....	22
3.2.4 Clasificación por sitios mineros y número de camiones	23

3.2.5 Mercado Disponible (SAM)	23
3.2.6 Mercado Objetivo (SOM)	23
3.2.7 Cálculo del TAM/SAM/SOM	26
3.3 Perfil del cliente.....	27
3.3.1 Oportunidad del prototipo para la mejora del cliente.....	29
3.3.2 Diagrama de proceso AS-IS	30
3.3.3 Diagrama de proceso TO-BE	31
3.4 Perfil del usuario	32
3.4.1 Administrador del sistema.....	32
3.4.2 Usuario	33
CAPÍTULO IV: DEFINICIÓN DEL PROYECTO	34
4.1 Definición del proyecto	34
4.2 Objetivos del proyecto.....	35
4.2.1 Objetivos generales:	35
4.2.2 Objetivos específicos:.....	35
4.3 Modelo de negocio	35
4.3.1 Lean Canvas	36
4.4 Roles y responsabilidades del equipo del proyecto.....	38
4.5 Cronograma y riesgos iniciales del proyecto	38
4.5.1 Medidas de control (indicadores del proyecto)	40
4.5.2 Lista de Riesgos Predecibles	40
4.5.3 Lista de Riesgos Predecibles	46
4.6 Análisis Cualitativo	49
4.7 Recursos económicos	50
4.7.1 Propuesta Económica interna solución on-premise.....	50
4.7.2 Propuesta Económica interna solución en la nube	52
4.7.3 Justificación económica de cara al cliente	55
CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PRODUCTO MINIMO VIABLE.....	58
5.1 Alcance del producto mínimo viable.....	58
5.2 Supuestos clave y su validación a nivel de clientes y de usuarios	58
5.2.1 Modelo de Aprendizaje Automático con scikit-learn.....	59

5.2.2 Plan de Pruebas del Proyecto	60
5.2.3 Casos de Uso de Pruebas del proyecto más significativos	61
5.2.4 HUB.....	64
5.3 Diseño del producto mínimo viable	65
5.4 Implementación y validación del producto mínimo viable	70
5.4.1 Base de Datos	72
5.4.2 Procesamiento de la información para obtener el modelo de predicción de alertas de combustible.....	77
5.4.3 Procesamiento de la información para obtener el camión con baja potencia.....	79
5.4.4 Integración del prototipo propuesto con el sistema DISPATCH®	80
5.4.5 Interacción del sistema de monitoreo automático con el sistema DISPATCH®....	81
5.4.6 Archivos generados por el sistema DISPATCH®	83
5.4.7 Integración del prototipo propuesto con el sistema MineCare®.....	85
5.4.8 Solución en la nube	87
5.5 Reportes y resultados.....	88
5.5.1 Reporte de utilización de equipos	88
5.5.2 Reporte de utilización de camiones.....	89
5.5.3 Reporte de estado de equipos en acarreo en tiempo real.....	90
5.5.4 Top 5 camiones con alertas consumo excesivo de combustible	84
5.5.5 Top 5 camiones baja potencia por sistema.....	85
5.5.6 Información general de consumo de combustible.....	86
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	96
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	98
REFERENCIAS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Consumo de combustible en estudios a una muestra de camiones.....	1
Tabla 1.2 Gastos de reparación involucrados en una falla catastrófica	2
Tabla 1.3 Comparación características funcionales generales.....	5
Tabla 1.4 Comparación funcionalidades del sistema.....	5
Tabla 1.5 Comparación mantenimiento y soporte técnico de los sistemas	5
Tabla 3.1 Segmentación por tipo de mina	17
Tabla 3.2 Resumen del TAM/SAM/SOM	26
Tabla 3.3 Interacción de usuarios - Analista de datos	28
Tabla 4.1 Análisis Cualitativo	49
Tabla 4.2 Costos operacionales para la solución on-premise	50
Tabla 4.3 Detalle del costo anual para la solución on-premise	51
Tabla 4.4 Flujo de licencias de la solución on-premise.....	52
Tabla 4.5 Costos operacionales para la solución en la nube.....	53
Tabla 4.6 Detalle del costo anual para la solución en la nube	54
Tabla 4.7 Flujo de Inversión de la solución en la nube	55
Tabla 4.8 Inversión detallada de la solución on-premise.....	56
Tabla 4.9 Inversión detallada de la solución en la nube	57
Tabla 5.1 Informe del test “Registrar Equipo”	61
Tabla 5.2 Informe del test “Monitorear equipos”	62
Tabla 5.3 Informe del test “Seguimiento en Tiempo Real”	63
Tabla 5.4 Bases del sistema DISPATCH® – Tiempo Real y de Turno	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Falla en la caja de turbo de un camión	2
Figura 2.1 Uso de la pantalla del sistema DISPATCH® instalado a bordo de camiones (Neil Ferreira, 2011)	7
Figura 2.2 Aplicación PitGraphics del sistema DISPATCH® en la minera monitoreada por el sistema RAC	9
Figura 2.3 Pala electromecánica para minería	11
Figura 2.4 Ejemplo de datos obtenidos del Sistema	12
Figura 3.1 Participación de Mercado por sitios Mineros.....	14
Figura 3.2 Segmentación por Región Geográfica.....	18
Figura 3.3 Segmentación por Idioma.....	18
Figura 3.4 Participación de Mercado por Tamaño de Flota de Acarreo (Número de Camiones)	19
Figura 3.5 Participación de Mercado por Tamaño de Flota de Acarreo (Número de Sitios Mineros).....	20
Figura 3.6 Desglose de la mina por tipo de mineral	20
Figura 3.7 Cuota de Mercado de Sistemas de Gestión de Flotas (por Camiones) según Parker Bay Mining.....	24
Figura 3.8 Cuota de mercado de venta de nuevos sistemas de gestión de flotas, por ejercicio	25
Figura 3.9 Cuota de mercado de ventas de nuevos sistemas de gestión de flotas, por región	26
Figura 3.10 Perfil de usuario.....	27
Figura 3.11 Propuesta de valor en el modelo Canvas.....	29
Figura 3.12 Diagrama de procesos de negocio AS-IS (Elaboración propia).....	30
Figura 3.13 Diagrama de procesos de negocio TO-BE (Elaboración propia).....	31
Figura 3.14 Diagrama de Actores (Elaboración propia).....	32
Figura 4.1 Lean Business Model Canvas.....	37
Figura 4.2 Diagrama Gantt del Proyecto	39

Figura 5.1 Modelo de 3 capas del Sistema de Gestión	59
Figura 5.2 Diagrama de conexión HUB-Sensor	64
Figura 5.3 Interfaz web de Login.....	65
Figura 5.4 Interfaz web de administración del sistema	65
Figura 5.5 Interfaz web de mantenimiento de equipos	66
Figura 5.6 Ejemplo web de Consulta Generada	66
Figura 5.7 Interfaz móvil de Login	67
Figura 5.8 Interfaz móvil de administración del sistema.....	67
Figura 5.9 Interfaz móvil de mantenimiento de equipos	68
Figura 5.10 Interfaz móvil de mantenimiento de interfaces de equipos	68
Figura 5.11 Ejemplo móvil de Consulta Generada.....	69
Figura 5.12 Esquema de configuración del prototipo propuesto	70
Figura 5.13 Diagrama de Componentes del Sistema propuesto	71
Figura 5.14 Diagrama de Trasmisión de Datos del Sistema (Elaboración propia).....	72
Figura 5.15 Diagrama E/R de la Base de Datos MineCare® módulo de Tendencias	74
Figura 5.16 Diagrama E/R de la Base de Datos Relacional de la aplicación MineCare® módulo OEM Data Provider	75
Figura 5.17 Diagrama E/R de la Base de Datos DISPATCH® - tablas específicas para uso del módulo de interfaces	76
Figura 5.18 Secuencia de la lógica de envío de mensajes por alerta a los usuarios finales	77
Figura 5.19 Valores reales vs Valores pronosticados	78
Figura 5.20 Evaluación del modelo	78
Figura 5.21 Ejecución de script para evaluación de cola de camiones	79
Figura 5.22 Interacción de DISPATCH® con el Prototipo de Combustible.....	82
Figura 5.23 Directorio de salida de archivos generados por DISPATCH®	84
Figura 5.24 Flota 930E – Tendencia existente “Haul Road Study Kom”	86
Figura 5.25 Flota 980E – Tendencia existente “980E Trial”	86
Figura 5.26 Flota 797F – Tendencia existente “Data recolector – CAT 797F”	87
Figura 5.27 Diagrama de alto nivel para solución en la nube.....	88
Figura 5.28 Reporte de utilización de equipos	89
Figura 5.29 Reporte de utilización de camiones.....	90

Figura 5.30 Reporte de estado de equipos en acarreo.....	90
Figura 5.31 Top 5 Camiones con alertas de consumo excesivo de combustible.....	91
Figura 5.32 Ranking de top 5 Sistemas por baja potencia.....	92
Figura 5.33 Información General Consumo Combustible por Galones/Hora	94
Figura 7.1 Modelado usando Gradient Boosted Tree	96
Figura 7.2 Sensores para implementar en futuras versiones.....	97



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Demostración del Sistema de monitoreo de salud de activos.....	104
Anexo 2: Cotización de Servidores a implementar.....	114
Anexo 3: Demostración del cálculo de la ecuación del modelo de regresión lineal usando Python	115
Anexo 4: Demostración del aplicativo distancias.py para detectar posibles camiones con baja potencia.....	122



RESUMEN

El sistema de monitoreo de salud de activos basado en machine learning aplicado en maquinaria pesada está dirigido principalmente a compañías mineras de tajo abierto. Los datos de validación para el sistema serán tomados del registro de la base de datos histórica en los turnos ocurridos en el último año.

Recoger información asociada a un conjunto de parámetros primarios que se analizará, con base en el criterio, definido por el usuario. El estudio del aprendizaje automático se enfocará en el análisis de datos previos para realizar predicciones precisas, basándose en la información de los parámetros. Este enfoque se conoce como data-driven o gobernado por los datos. Utilizando la información de los parámetros primarios recogidos, la solución puede indicar las condiciones del equipo y proponer realizar un mantenimiento proactivo.

Palabras clave: Maquinaria pesada, Indicadores KPI, Mantenimiento proactivo, Mantenimiento preventivo, Mantenimiento Correctivo.

ABSTRACT

Machine learning based mining on haulage fleet by health monitoring system has been designed for open pit mining companies. The validation data for the system belongs to the record of the historical database in the shifts that occurred in the last year.

Gathers information associated with a set of primary parameters that will be analyzed based on user-defined criteria and machine learning (data-driven), resulting in accurate predictions from the analysis of primary parameters collected. The solution can indicate equipment conditions and propose proactive maintenance.

Keywords: Mining Fleet Equipment, KPI indicators, Proactive maintenance, Preventive Maintenance, Corrective maintenance. Mining.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las empresas mineras también se enfrentan a diversos problemas como los costos operativos y presentan una serie de falencias en el tema de mantenimiento, como las que se menciona a continuación: exceso de combustible utilizado en los equipos, gastos innecesarios de los neumáticos, depreciación acelerada de los carguíos, entre otros relacionados a la maquinaria pesada.

1.1. Definición del problema

Según el consumo de combustible de estudios en camiones, como se observa en la tabla 1.1, existen varias oportunidades de mejora, tanto general y específicas. Una necesidad que se percibe en las mineras es la capacidad de gestionar de forma eficaz y eficiente el patrimonio, en este caso específico, la maquinaria pesada. Dado que se encuentran interrelacionados con los costos operativos en el corto y mediano plazo.

En la actualidad, se están presentando dificultades en los equipos de carga en el departamento de mantenimiento:

Tabla 1.1

Consumo de combustible en estudios a una muestra de camiones

	Muestra real	Peor escenario	Escenario ideal
Tiempo promedio de descarga	20 seg.	20 seg.	20 seg.
Consumo promedio. Combustible	92.46 L/h	134.38 L/h	74.5 L/h
Consumo promedio de combustible (mientras descarga)	0.514 L	0.747 L	0.414 L
Promedio de cargas por semana	222	222	222
Total combustible consumido durante la descarga por año	5933.6 L	8623.4 L	4779.2 L

Nota. De “Caso de estudio de consumo de combustible” (Modular Mining, 2015)

Figura 1.1

Falla en la caja de turbo de un camión



1.1.1 Antecedentes

En la figura 1.1 se muestra cuando la caja turbo falla, la presión de admisión se pierde y se evidencia como las carcassas comienzan a separarse y consumirse. En consecuencia, el motor se apaga y el sistema previene las fallas catastróficas y evitar un costo potencial de 288.000 soles en reparaciones de mantenimiento como se observa en la tabla 1.2.

Tabla 1.2

Gastos de reparación involucrados en una falla catastrófica

Item	Valor	Unidad
Caja de Turbo	40000	Soles
Reparación del Motor	30000	Soles
Mano de obra * 2 horas estimadas	800	Soles
Costo por pérdida de producción de mineral	205200	Soles
Otros Gastos	12000	Soles
Total	288000	

1.1.2 Motivación

Ayudar a identificar posibles fallas de componentes; basadas en información de parámetros recolectados y evaluar la condición de los componentes del equipo, a partir de la información

del sensor (parámetro) para usar algoritmos de aprendizaje de máquinas. De manera general, serían escenarios donde las opciones a elegir o acciones correctivas a realizar se obtienen de las diversas condiciones que la maquinaria presenta. Generar reportes cada 30 minutos con base en el tipo de equipo y movimiento de material; inicialmente donde se implementa un modelo de aprendizaje automático proactivo de maquinaria pesada para la mejora de gestión de servicios de mantenimiento donde se implementaría la mejora continua de los indicadores MTBF y MTTR.

1.1.3 Justificación

En la mayoría de los equipos móviles de minería funcionando con motores Diesel de alta potencia; los fallos son comunes y muchos pasan desapercibidos hasta que se produce un daño significativo. Nuestra solución propone un sistema, donde las interfases se comunicarán con nuestra aplicación móvil y página web, para la mayoría de los fabricantes de maquinaria pesada.

Es la única en utilizar el algoritmo regresión lineal múltiple en Machine Learning aplicado al sistema de monitoreo, que se puede implementar en muchos tipos de máquinas. Para ello requiere una cantidad de información almacenada en servidores locales, llamada información histórica, en un periodo de un año para tener mayor eficiencia en la inicialización del algoritmo, permitiendo a los departamentos/áreas de mantenimiento empezar a optimizar y evitar los costes de mantenimiento a largo plazo.

Con la gestión de datos en tiempo real y alertas de equipos, permitirá a nuestros clientes abordar con éxito sus operaciones diarias: prevenir fallos, minimizar los costos de inactividad y mantenimiento. De esta manera, nuestros clientes pueden maximizar la utilización de los equipos, minimizar costos, tomar decisiones informadas y sacar ventaja de la flota, al optimizar su uso y aumentar la eficiencia en la toma de decisiones por el personal encargado.

1.1.4 Competencia

El sistema contribuirá a mantener el buen estado de los equipos de producción y auxiliares de las maquinarias pesadas. Las principales características del sistema tendrán como finalidad lo siguiente:

- Generar reportes con base en el equipo y movimiento de material cada 30 minutos.
- Monitorear los parámetros almacenados de las distintas interfases para la resolución de problemas y análisis de rendimiento.
- Notificar en tiempo real los equipos que estén detenidos en un reporte web.
- Crear un reporte que incluya un ranking de top 5 equipos con mayor cantidad de alertas; para la supervisión a largo plazo sobre el funcionamiento de los equipos en situaciones específicas.
- Crear y disponer de los registros de mantenimiento.

1.1.4.1 Benchmark de la aplicación a implementar y aplicaciones similares encontradas en el mercado.

El benchmarking es una práctica empresarial altamente valorada y efectiva, ya que proporciona una comparación referencial que puede aplicarse en cualquier área y tipo de empresa. De las tablas 1.3 a la 1.5, se compara la aplicación prototipo y los sistemas de gestión de mantenimiento minero que se utilizan en la industria para mejorar la eficiencia y la productividad en el área de mantenimiento: MineCare®, Mine Star System y Wenco que nos permitirá identificar las fortalezas y debilidades de cada uno de ellos, lo que resultará en información valiosa para mejorar nuestro propio sistema. En consecuencia, este proceso es fundamental para garantizar que nuestra aplicación prototipo a implementar, esté a la altura de los estándares del mercado y pueda satisfacer las necesidades encontradas del perfil del cliente.

MineCare®, así como Mine Star System, son sistemas fabricados en los Estados Unidos, mientras que Wenco es un sistema desarrollado y fabricado en Canadá. Es importante tener en cuenta estas ubicaciones geográficas, ya que pueden influir en factores como el idioma y las regulaciones específicas del país. Además, estas empresas pueden tener diferentes enfoques culturales y de negocio que podrían afectar la forma en que se desarrollan

y se comercializan sus sistemas a diferencia de nuestro sistema el cual se desarrollaría en Perú.

Tabla 1.3

Comparación características funcionales generales

Características Funcionales	MineCare®	Mine Start System	Wenco	Prototipo Alertas Automaticas
Registrar Equipos	Si	Si	Si	Si
Registrar Interfaces	Si	No	No	Si
Monitorear Equipos	Si	Si	Si	Si
Guardar Monitoreo de Equipos	Si	No	No	No
Administrar Eventos OEM	Si	Si	Si	Si
Administrar Fallas	Si	Si	Si	Si
Administrar Tendencias	Si	Si	Si	No
Envío de Alertas Automáticas	No	No	No	Si

Tabla 1.4

Comparación funcionalidades del sistema

Características del Sistema	MineCare®	Mine Start System	Wenco	Prototipo Alertas Automaticas
Aplicación Web	Si	Si	Si	Si
Aplicación Móvil	No	No	No	Si
Interfaces OEM otros fabricantes	Si	No	No	Si

Tabla 1.5

Comparación mantenimiento y soporte técnico de los sistemas

Parametrización	MineCare®	Mine Start System	Wenco	Prototipo Alertas Automaticas
Soporte y Actualizaciones	Si	Si	Si	Si
Asistencia técnica en sitio	Si	Si	Si	Si

Después de una evaluación y comparación de los sistemas de monitoreo de maquinaria pesada, se ha identificado una característica altamente beneficiosa en nuestra propuesta: la capacidad de generar notificaciones en forma de alertas a través de su aplicación móvil, lo que permite una toma de decisiones más informada por parte del analista de datos, del área de mantenimiento mina, en caso de detectar cualquier posible falla. Esta funcionalidad de envío de alertas automáticas a través de la aplicación móvil puede ser un factor determinante a la hora de seleccionar una aplicación para la gestión del mantenimiento minero. Los resultados de los cuadros comparativos presentados indican que tanto MineCare® como el prototipo obtienen una puntuación de 11, superando a Mine Start System y Wenco, que obtuvieron una puntuación de 8 respectivamente. Para la puntuación se ha considerado que cada "sí" cuenta como 1.

Además, es importante destacar que todos los sistemas presentados utilizan Windows como sistema operativo y utilizan SQL Server como motor de base de datos, con excepción de Wenco que utiliza Oracle. Estos detalles son relevantes para tomar en cuenta al momento de evaluar las opciones y tomar una decisión informada para la implementación de un sistema en una empresa minera. La infraestructura para utilizar y la aceptación final del área de tecnología de información del sitio, serán cruciales en el proceso de implementación. Finalmente, en cuanto a los aportes técnicos de los miembros del equipo del proyecto, podemos rescatar lo siguiente:

- ✓ Introducir plataformas móviles al sistema, mediante los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la carrera.
- ✓ Implementar un mecanismo de integración con los sistemas actualmente existentes para la visualización de información al usuario final de una manera sencilla e intuitiva sin que suponga elevados costes.
- ✓ Contamos con 8 años de experiencia en el área de proyectos en el rubro de Minería y atención a usuarios finales (Mesa de ayuda llamada Helpdesk), administrando y soportando la infraestructura de activos tecnológicos, redes y servidores, así como sus garantías, experiencia con tecnología de la suite IntelliMine (DISPATCH®, ProVision® y MineCare®). Trabajando en implementaciones y proyectos, además de configuración y soporte de tecnologías de información y comunicación.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Estudio contemporáneo de manejo de la flota y optimización en el ciclo de acarreo

Las empresas en el rubro de la minería han estado implementando y mejorando la tecnología de los sistemas de gestión de flotas, como se aprecia en la figura 2.1. Lo que ha provocado un cambio significativo en la forma en que se llevan a cabo y supervisan las operaciones mineras. Estos sistemas se han convertido en un elemento central para el funcionamiento de estas, y su uso se considera esencial en yacimientos reducidos. De hecho, se considera imprescindible instalar un sistema de gestión de flotas, antes de iniciar cualquier operación en este tipo de yacimientos.

Comprobadamente, estos sistemas han sido de utilidad para ejecutar tareas de producción y rastreo general de equipamiento y de personal. La productividad comprobada, luego de la implementación y puesta en marcha de un sistema, varía entre el 5% y el 30%. Estos sistemas de gestión de flotas han resultado ser una forma productiva de recopilar datos. Los ingenieros en minería han podido extraer esta data para optimizar procesos asociados al ciclo de acarreo de la flota, tales como minimizar los tiempos muertos durante el cambio de turno. (Modular Mining, 2022)

Figura 2.1

Uso de la pantalla del sistema DISPATCH® instalado a bordo de camiones (Neil Ferreira, 2011)



2.2 Optimización del ciclo de excavación para palas eléctricas con cable, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética

El mejoramiento de la eficiencia energética puede tener un impacto positivo en las operaciones mineras que han hecho uso de esta tecnología. Esto se logra mediante el monitoreo continuo de las señales de vibración y tensión de los equipos, que se comparan con valores de alerta y alarma para detectar posibles problemas. Para mejorar la relación señal-ruido, se realizan análisis en períodos de medición seleccionados. Los datos se registran en intervalos regulares para detectar cambios mecánicos y se guardan cuando ocurren eventos repentinos. Además, se graban señales adicionales del sistema de control de la pala; para servir como referencia y permitir ajustes en la operación, lo que reduce significativamente los costos de energía. (Kwame Awuah-Offei, 2006)

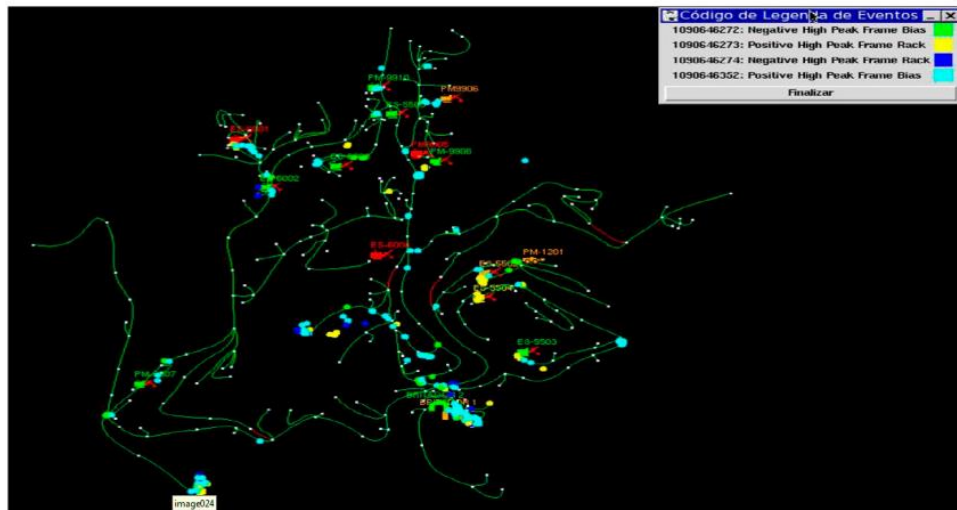
2.3 Beneficios cuando se incorpora un sistema de telemetría en la gestión de las operaciones mineras

En los últimos años, los avances tecnológicos han sido significativos y han tenido un gran impacto en la gestión de las operaciones mineras de manera diaria. La demanda de herramientas tecnológicas ha aumentado gracias a su eficiencia, precisión, versatilidad y rapidez.

En el ámbito de las telecomunicaciones, se abren múltiples oportunidades para la gestión de información, datos y voz, utilizando diversos medios como la radio, el cable, las fibras ópticas y los sistemas electromagnéticos. Una de las tecnologías más importantes en este campo es la telemetría. Finalmente existe una mejora en la toma de decisiones: La información en tiempo real proporcionada por estos sistemas permiten a los distintos usuarios como los supervisores y operadores, tomar decisiones más informadas y precisas. Como se observa en la figura 2.2 los eventos Frame Bias y Rack. En la visualización de gráficos de minas, donde el evento Frame Bias podría indicar que el camión está inclinado o desviado de su posición normal. En términos visuales, el Rack puede representar una sacudida o inclinación pronunciada del camión. Estos datos podrían ser indicativo de condiciones de manejo difíciles, como el paso por terrenos irregulares o la carga/descarga de material en pendientes y tomar acción sobre esos puntos del mapa desplegado.

Figura 2.2

Aplicación PitGraphics del sistema DISPATCH® en la minera monitoreada por el sistema RAC



Nota. De “Beneficios de la implementación de un sistema de telemetría para la gestión de las operaciones mineras”, por W. S. Felsch Junior Feish Junior, C. E. Arroyo Ortiz, V. S. Oliveira, P. R. V., Da-Cunha y E. F. De Araújo Costa, 2018, *Interfases*, 11, 87-102 (<https://doi.org/10.26439/interfases2018.n011.2955>).

2.4 Manejo y supervisión de maquinaria de gran tamaño en proyectos de construcción de carreteras mediante el uso de herramientas y sistemas informáticos (Juan Carlos Torres Estrada - Universidad Nacional De Ingeniería)

La siguiente tesis es el resultado de una investigación interdisciplinaria en diversos campos de la ingeniería, cuyo objetivo es mejorar la gestión del control de la Maquinaria Pesada (MP) en obras viales. Durante el desarrollo de la tesis, se ha trabajado en colaboración con profesionales de distintas especialidades, incluyendo ingenieros de sistemas, electrónicos y mecánicos, con el fin de aplicar tecnologías actuales en el ámbito de la gestión de la MP.

El tesista cuenta con experiencia en obras viales y ha identificado que la producción de la MP requiere el uso de recursos valiosos, mientras que su control es una actividad crítica y estratégica. Por lo tanto, la motivación para llevar a cabo esta tesis es significativa, ya que los costos relacionados con la MP en la construcción de carreteras tienen un impacto considerable en el presupuesto de obra.

En este estudio se presenta una introducción al control de producción y la gestión del mantenimiento de la Maquinaria Pesada (MP), con el objetivo de proporcionar parámetros básicos para el diseño de un sistema de control efectivo. Además, se lleva a cabo una investigación exhaustiva del estado actual de las tecnologías de la información, como la Georeferenciación y la Telemática. Se realiza un trabajo de campo en el que se identifican los problemas críticos relacionados con el control y producción de la MP en obras viales, y se presentan soluciones basadas en la aplicación de Tecnologías de la Información (TI).

Es importante destacar que la aplicación de las TI requiere de un plan de implementación adecuado, por lo que se han considerado diversas alternativas tecnológicas para las soluciones requeridas. Además, se ha obtenido asesoramiento de profesionales y empresas con experiencia en estas tecnologías para validar su uso en la recolección de datos en campo y el control mecánico remoto, lo que a su vez ayuda a reducir los costos asociados con el control de la producción y el mantenimiento de la MP.

2.5 CompactRIO: una solución de monitoreo y control en minería

El sistema de monitoreo CompactRIO es un conjunto de dispositivos que consta de un equipo embebido, un servidor, computadoras y equipamiento para la comunicación inalámbrica. En el caso de una pala electromecánica (véase figura 2.3), el sistema incluye los siguientes componentes: un sistema CompactRIO con un controlador embebido NI cRIO-9014 y un chasis de 8 ranuras, un módulo NI 9233 para medición de vibración, un módulo NI 9237 para medición dinámica de tensión, un módulo NI 9422 para obtener datos precisos y de alta resolución de tacómetros, un módulo NI 9205 para señales adicionales del sistema de control de la pala, acelerómetros piezoeléctricos montados en los componentes rotatorios principales de la pala (como motores y caja de transmisiones), galgas extensiométricas montadas en los componentes estructurales principales de la pala, codificadores incrementales en los motores principales, equipo de comunicación inalámbrica y equipo para filtrado de potencia.

Figura 2.3

Pala electromecánica para minería



Una vez que los datos son procesados y almacenados, están disponibles para visualización del usuario, análisis, procesamiento manual, y administración de las tendencias históricas en el servidor o cualquier computadora en la red con acceso a la base de datos. Todo el software de configuración, transferencia de datos, procesamiento, visualización y análisis fue desarrollado con LabVIEW. El sistema CompactRIO recolecta señales

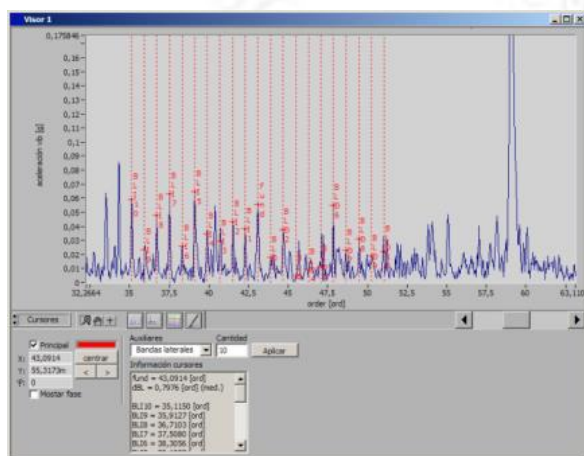
simultáneas de acelerómetros, codificadores y galgas extensiométricas en tiempo real. Las señales de vibración y tensión son monitoreadas constantemente y comparadas con valores de alerta y alarma para detectar problemas. Si se genera una alerta o alarma, las señales son grabadas periódicamente en intervalos de tiempo predefinidos por el usuario. Además, el sistema busca los mejores períodos de medición para optimizar la relación señal-ruido. Los datos son grabados en intervalos regulares para detectar cambios mecánicos y eventos repentinos. Las señales del sistema de control de la pala también son grabadas como referencia para mejorar la capacidad de corrección proactiva.

Los datos son almacenados temporalmente en la memoria flash interna del CompactRIO y luego descargados automáticamente a un servidor maestro mediante un enlace inalámbrico. Si el enlace inalámbrico no está disponible, el usuario puede conectarse y descargar los datos manualmente mediante un enlace inalámbrico de corto alcance y punto a punto, conectando un cable de red Ethernet, o insertando una memoria USB en el CompactRIO.

Una vez que los datos son procesados y almacenados, están disponibles para ser visualizados, analizados, procesados manualmente y administrados en tendencias históricas en el servidor o cualquier computadora en la red con acceso a la base de datos (véase figura 2.4). Todo lo utilizado para configurar, transferir datos, procesar, visualizar y analizar los datos fue desarrollado utilizando el software LabVIEW.

Figura 2.4

Ejemplo de datos obtenidos del Sistema



Hasta abril de 2008, SiAMFlex monitorea nueve palas de cuatro minas a cielo abierto en Chile, dos de las cuales son las minas de cobre más grandes del mundo. Además de los sistemas de monitoreo continuo, CADETECH ha creado varios instrumentos portátiles para palas que no requieren del sistema SiAMFlex. Uno de ellos está basado en el sistema NI CompactDAQ y los otros utilizan CompactRIO junto con una computadora táctil NI TPC-2006 para configurar un equipo autónomo y resistente para el análisis de vibración de 16 canales en una maleta. Estos desarrollos demuestran la flexibilidad, facilidad de uso y rendimiento predecible de la plataforma de hardware y software de National Instruments.

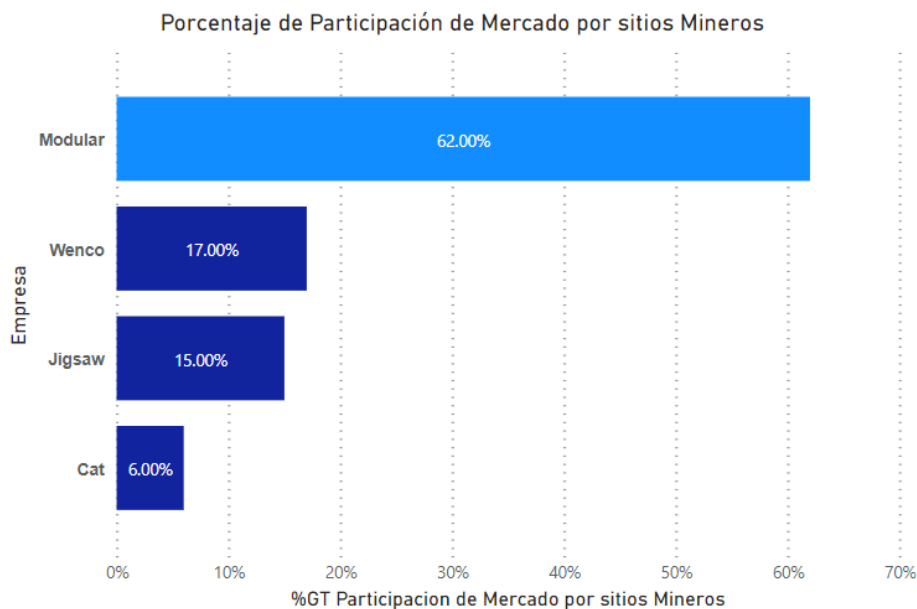


CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LA NECESIDAD, EL CLIENTE Y EL MERCADO

Con el 62 % de las minas que ejecutan los principales sistemas de gestión de flotas, el sistema DISPATCH® es el producto estrella de la empresa Modular Mining. En el cual se desarrollará este intraemprendimiento corporativo. La competencia en los últimos 5 años ha aumentado con el reingreso de Caterpillar; el respaldo financiero de Jigsaw y Wenco por parte de Hexagon e Hitachi, ver figura 3.1. A pesar de esta mayor competencia, en el mercado, solo el 37 % de las minas operativas tienen en su haber flotas de acarreo de 15 camiones y cargas útiles de 90 toneladas o más, donde operan sistemas para gestión de flotas y monitoreo de activos. Todavía hay espacio para el crecimiento del mercado.

Figura 3.1

Participación de Mercado por sitios Mineros



Para la producción de minas a cielo abierto, camiones/palas que extraen cualquier material en países de habla inglesa, española, portuguesa, francesa, rusa, mandarín e hindi

de todo el mundo, requieren una integración confiable entre sistemas tripulados, operados a distancia y autónomos. El sistema DISPATCH® es una solución de gestión de flotas que proporciona optimización en el ciclo de acarreo de material, seguimiento de equipos y conocimiento de la situación del operador.

A diferencia de Wenco, Caterpillar y Jigsaw, DISPATCH® ofrece una optimización de flota comprobada; como se ha visto en la revisión de la literatura en el punto 2.1 de este documento y además brinda una integración perfecta con el sistema ProVision® y MineCare®. “El sistema de gestión de mantenimiento MineCare® aprovecha las capacidades informáticas inteligentes para capturar los datos correctos en el momento adecuado.” (Modular Mining, 2022). Del sistema de gestión de mantenimiento extraeremos la información de los equipos de campo y en base a ello; se realizará el prototipo para satisfacer las necesidades comerciales emergentes y compatibilidad con la más amplia variedad de interfaces parámetros OEM.

Esta posición de liderazgo de Modular Mining en el mercado aumentará al 65 % de los sitios mineros actuales, a través de un enfoque en características altamente diferenciadas que están alineadas con una visión a largo plazo de un nivel cada vez de mayor de asistencia y análisis remoto por la instrumentación que los equipos a monitorear poseen, usando nuestra innovación propuesta.

Históricamente, la empresa Modular Mining ha tenido dificultades para entregar proyectos al mercado a tiempo. En consecuencia, el riesgo de que se exceda el cronograma en el futuro se mitigará; manteniendo el alcance del MVP y la cantidad de funciones en cada versión relativamente pequeño. La nueva cartera de funciones contiene una combinación de amortización inmediata, funciones de alto retorno de la inversión y componentes básicos estratégicos a más largo plazo. Las características más importantes son la interfaz bidireccional orientada a servicios para interfaz móviles y un paquete de alertas que ayudara a una mejor planificación minera.

El prototipo de sistema está enfocado a clientes de bajo presupuesto con necesidades simples y también puede enfocarse en clientes de alto valor, que definiremos en la segmentación del mercado. Las necesidades para suplir identificadas; serán disminuir el consumo excesivo de combustible y baja potencia de los equipos de carguío. De esta manera

planeamos aumentar la productividad e impactar positivamente en los indicadores KPI de utilización y disponibilidad de equipos.

3.1 Análisis del mercado Potencial

El mercado correspondiente a nuestro sistema de monitoreo y salud de activos basado en machine learning, aplicado en maquinaria pesada para empresas mineras se puede subdividir de acuerdo con 5 dimensiones relevantes: tipo de mina, tamaño de la flota de la mina, ubicación geográfica, producto básico y empresa. La justificación de cada uno de estos enfoques de segmentación se explica en las próximas secciones.

3.1.1 Tipo de mina

La clasificación de segmentación tradicional, por tipo de mina como se aprecia en la tabla 3.1, requiere de sistemas de gestión de flotas complejos y requiere una inversión considerable de capital. Las minas existentes que operan sin un sistema de gestión de flotas; requieren un enfoque de ventas más integral, que los clientes que inicien una mina, que ya cuenten con un sistema similar, desde el primer día de operación del ciclo de acarreo. Los clientes de Modular Mining ya existentes; representan el segmento de mercado más grande, con el menor requisito de justificación. Donde podemos hacer pruebas de nuestro prototipo y el costo será menor para la implementación. En caso de ventas nuevas, se requiere también un caso comercial similar; para convencer al cliente de un competidor que considere cambiarse al sistema DISPATCH® integrado con MineCare® para luego implementar la solución propuesta. Finalmente puede ser difícil proporcionar un caso de negocio lo suficientemente atractivo donde se va a dar valor agregado a la operación minera, basado en una innovación de la integración de los sistemas DISPATCH® y MineCare®.

Tabla 3.1*Segmentación por tipo de mina*

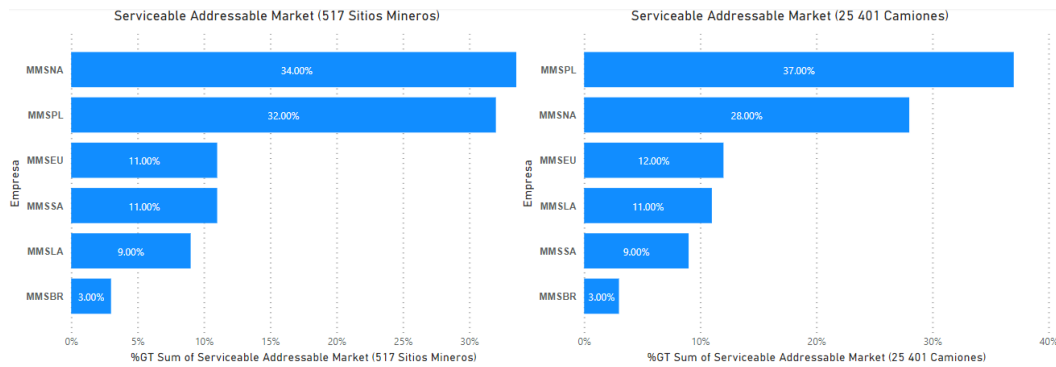
Segmentación del Mercado	Descripción	Fuente de Datos	Conteo
Nuevos Sitios	Nuevas minas que no han entrado a producción	Salesforce / WWW	Desconocido
Cientes Existentes	Minas que actualmente opera el DISPATCH® y MineCare®	Literatura interna dentro de la empresa y que pueda ser compartida con el cliente	120
Sitios Mineros con Restricciones	Minas que han entrado en producción; pero que no tiene un producto de gestión de flota computarizado, de un competidor importante.	Parker Bay	Aproximadamente 350 en Base de datos Parker Bay
Cientes de la Competencia	Minas que actualmente opera el producto de gestión de flota y computarizado de un competidor.	Salesforce, literatura especializada	Wenco 33 Leica 28 Cat 11

3.1.2 Geográfica

Las áreas de servicio regionales existentes constituyen un desglose geográfico lógico, como se observa en la figura 3.2. Sin embargo, además de ofrecer software en diferentes idiomas, no hay diferencia en el producto; el proceso de venta, el método de entrega o la versión del producto que se entrega será la misma para todos los casos. La combinación de competidores varía según la zona geográfica. Esto se abordará en la sección de competencias del presente documento.

Figura 3.2

Segmentación por Región Geográfica

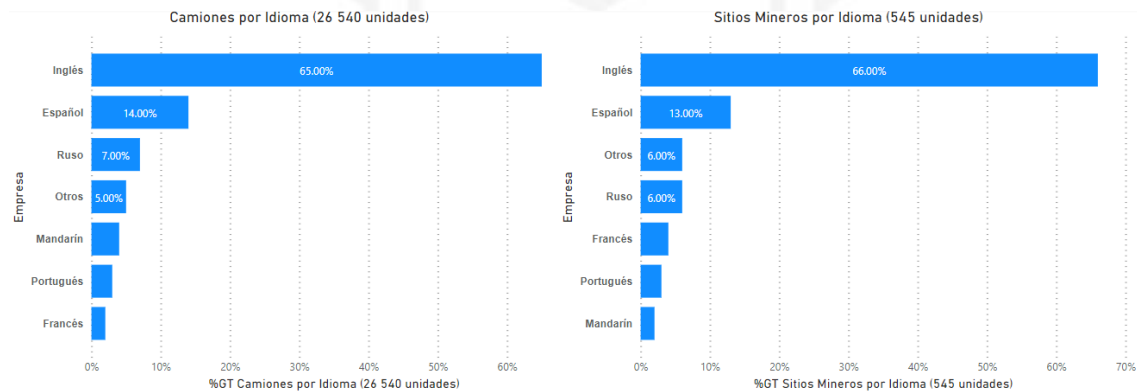


3.1.3 Idioma

La distribución de idiomas entre los equipos móviles y los sitios mineros es muy similar. Solo el inglés cubre el 66.67% de los clientes potenciales. Agregar lenguaje en español y portugués sumaría un 80%. El idioma ruso, mandarín y el francés elevan el tamaño del mercado direccionable de servicios a aproximadamente a 95% del mercado direccionable total. Para una explicación más detallada, consulte la figura 3.3, donde se observa que el inglés presenta una cobertura más amplia en comparación con los otros idiomas.

Figura 3.3

Segmentación por Idioma



3.1.4 Tamaño de la flota de acarreo

Los beneficios de las asignaciones de camiones y equipos auxiliares optimizadas por algoritmo (Ali Moradi Afrapoli, 2017) ⁰ y tecnología abordo (Computadores, Tableros, Tabletas, etc.) aumentarían con el tamaño de la flota. La mayoría de las minas a cielo abierto muy grandes (más de 75 camiones de acarreo) utilizan algún tipo de sistema computarizado de gestión de flotas. Debido a la longevidad y el éxito de Modular Mining en la industria minera, el 50 % de las unidades móviles instaladas se encuentran en minas con 75 o más camiones, presentando la oportunidad de presentar nuestra innovación. En las figuras 3.4 y 3.5 se observa que la participación de mercado por tamaño de flota de acarreo (Número de Camiones y Minas a tajo abierto) indica que ninguna de las empresas encuestadas cuenta con un sistema de mantenimiento que permita monitorear sus signos vitales, ni tampoco poseen un sistema de gestión de flotas integrado a bordo de los vehículos.

Figura 3.4

Participación de Mercado por Tamaño de Flota de Acarreo (Número de Camiones)

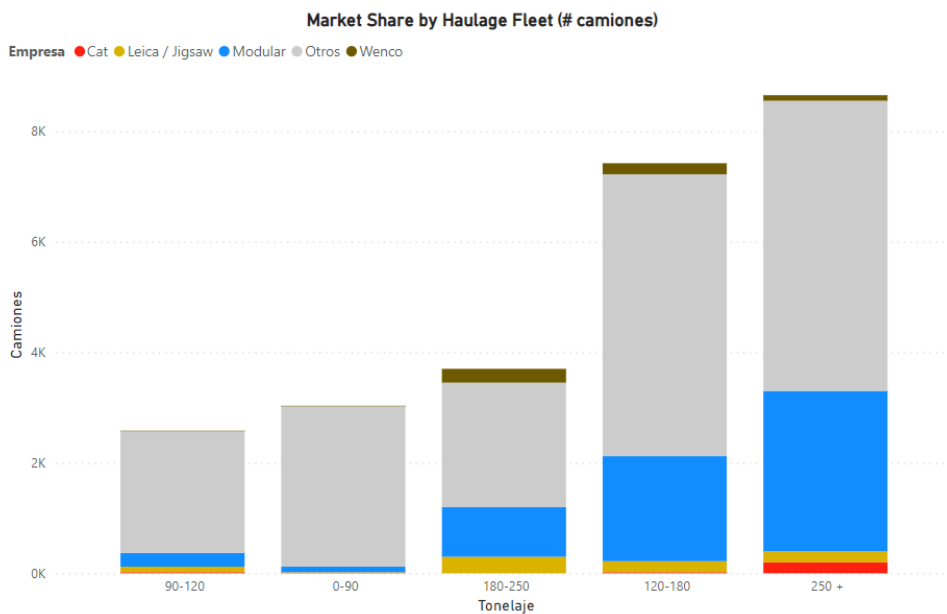
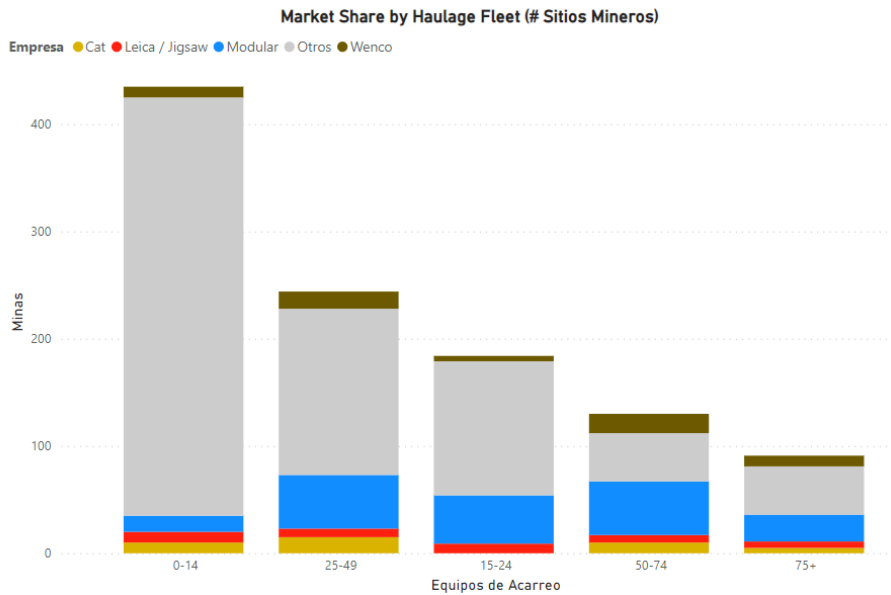


Figura 3.5

Participación de Mercado por Tamaño de Flota de Acarreo (Número de Sitios Mineros)



3.1.5 Minerales extraídos por los yacimientos mineros

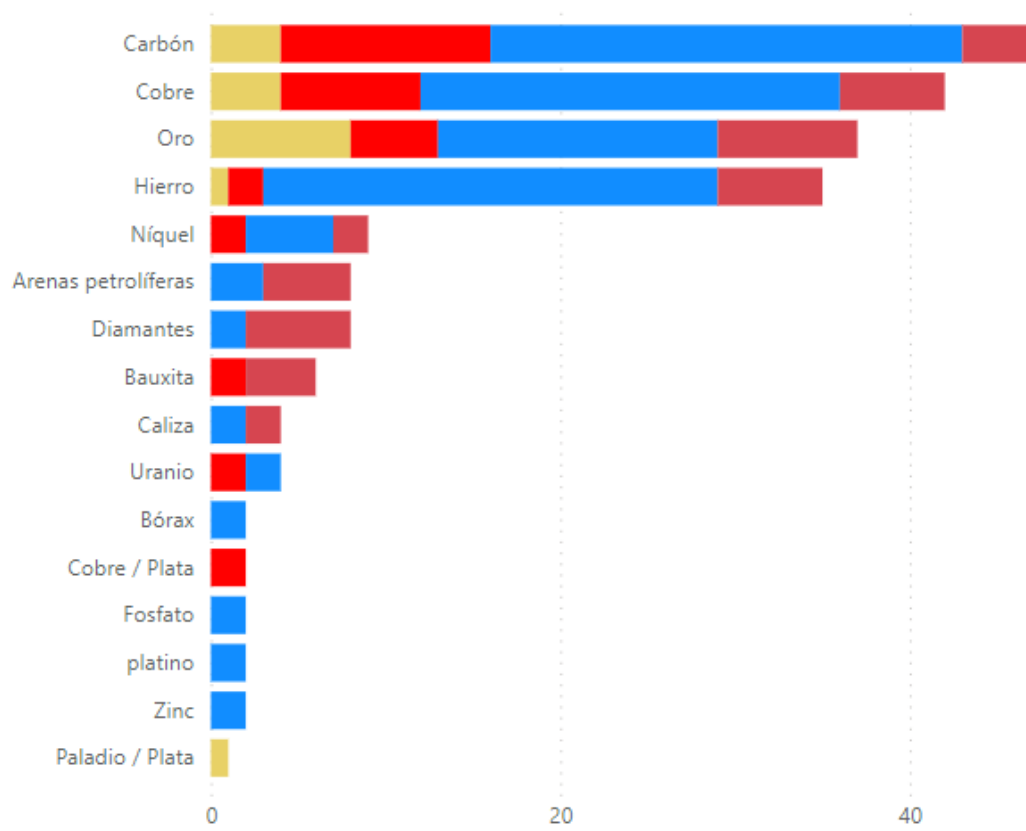
El carbón, el cobre, el oro y el mineral de hierro representan la base de clientes más grande tanto para Modular Mining como para la competencia. En la figura 3.6 se destaca que posee la mayor cantidad de activos de materia prima en la extracción, con la excepción del paladio y la plata, donde otras entidades tienen una presencia significativa. Sin embargo, en el caso del oro, enfrenta una fuerte competencia en el mercado.

Figura 3.6

Desglose de la mina por tipo de mineral

Sitios Mineros de la Competencia por Materia Prima

Empresa ● CAT ● Jigsaw ● Modular ● Wenco



3.2 Segmentación del mercado

3.2.1 Mercado total disponible (TAM)

El prototipo se enfoca en la producción de minas a cielo abierto, camiones y equipos auxiliares, que extraen cualquier material en países de habla inglesa, española, portuguesa, francesa, rusa, mandarín e hindi en todo el mundo. Como supuesto, debido a la variedad de oficinas regionales, no existen restricciones geográficas sobre los mercados que pueden ser atendidos. Cualquier oportunidad en una nueva área geográfica sería atendida por la oficina regional disponible más cercana, empezando con la región Perú. En la siguiente sección, se describe la selección del mercado objetivo, con los criterios de exclusión que el sistema no va a dar soporte en esta versión.

3.2.2 Exclusión por tamaño de equipo

Con pocas excepciones, las economías de escala; han dictado históricamente que los sistemas DISPATCH®, no son viables en flotas de equipos compuestas por camiones que son más pequeños que la clase de 90 toneladas (Cat 777 o Komatsu HD785). El prototipo por implementar no estará disponible para equipos más pequeños que los descritos y de menor costo. Entre las razones por la cual se excluirán; la más importante será, la instrumentación requerida dentro de los vehículos abordo no es suficiente, para realizar la integración con nuestro prototipo. Por lo tanto, las minas con estas restricciones de tipo equipo serán eliminadas, por completo del mercado objetivo.

3.2.3 Exclusión por tamaño de flota del ciclo de acarreo

En minas con menos de 15 camiones, las oportunidades de optimización en el ciclo de acarreo son muy poco frecuentes. Debido a la simplicidad y la cantidad limitada de rutas de transporte simultáneas en estas operaciones mineras. El prototipo no presentará optimización disponible para las minas objetivo con flotas más pequeñas en número de camiones; estos clientes pueden eliminarse por completo del mercado objetivo.

3.2.4 Clasificación por sitios mineros y número de camiones

Las minas pueden variar en tamaño desde 15 hasta más de 200 camiones. Dada la importancia continua de los ingresos por hardware (PTX y componentes asociados para obtener los datos requeridos de telemetría) y el cambio anticipado a, al menos, un modelo parcial de licencia de software basado por equipo; es importante considerar no solo la cantidad de sitios mineros de los clientes, sino también la cantidad total de equipos de acarreo que contara con el sistema DISPATCH® en cada locación. Para este análisis, se utilizó el número total de camiones. Esta simplificación se basa en una proporción bastante constante de camiones por carga y equipo auxiliar.

3.2.5 Mercado Disponible (SAM)

a) Idioma no compatible.

Quedan excluidas las minas que operen en países con idiomas distintos a los enumerados anteriormente. Esto excluye alrededor del 4.29% de los clientes de TAM del mercado direccionable de servicio, detallado en la Tabla N.º 3.3: Resumen del TAM/SAM/SOM.

3.2.6 Mercado Objetivo (SOM)

La cuota de mercado se puede expresar de dos formas; número de minas existentes y número de ventas significativas recientes. Los ingresos durante la vida útil de un sistema de gestión de flotas se pueden dividir en la venta de un nuevo sistema, más el valor de los contratos de mantenimiento durante la vida útil del mismo. Considerando una venta típica de la oficina de 1 millón de dólares, de sistemas nuevos, con un contrato de mantenimiento de 5 años, una tasa de descuento del 7 % y un costo de mantenimiento anual del 10 % del precio de venta del sistema, aproximadamente el 75 % del VPN proviene de los ingresos de la nueva venta. En base a esto, la cuota de mercado de las ventas de nuevos sistemas parece más importante que la cuota de mercado de los sitios existentes. Sin embargo, dado que las actualizaciones de sistemas constituyen un mercado más grande que las ventas de nuevos sistemas o las actualizaciones de la competencia; la cuota de mercado de los sitios existentes también es

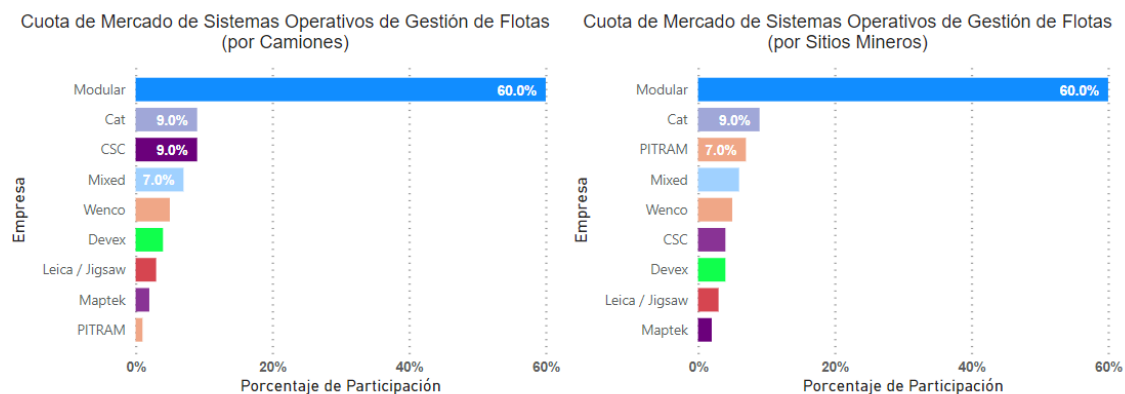
importante. Dado que las subsidiarias de ventas y soporte de Modular Mining están organizadas a lo largo de líneas regionales; la información de participación de mercado se ha dividido por oficinas regionales, tanto para los sitios mineros existentes como para las ventas principales.

b) Clientes ya existentes con solución Modular

La información de cuota de mercado para sitios existentes se basa en una combinación de datos de uso interno en la web de salesforce.com para sitios que cuentan con la información de la empresa Modular Mining y además del trabajo realizado por medio de literatura e información obtenida de páginas web para los sitios mineros de la competencia. Ambas fuentes de datos han sido ajustadas en base al conocimiento personal del autor. Cuando un sitio minero con los productos de la suite IntelliMine® pierde el contrato de soporte, procedemos a incluirlo en la columna del competidor, ya que se espera que todos los ingresos futuros por mejoras del sistema y mantenimiento de ese cliente recaigan en el competidor. En la figura 3.7, se evidencia que la empresa lidera la cuota de mercado en sistemas de gestión de flotas para camiones y mineras a cielo abierto, abarcando la mayoría de los sitios.

Figura 3.7

Cuota de Mercado de Sistemas de Gestión de Flotas (por Camiones) según Parker Bay Mining



Para el desarrollo de este prototipo tomaremos en cuenta; que los datos extraídos de Parker Bay son lo suficientemente precisos, como para proporcionar una base para decisiones

estratégicas de alto nivel. El número de minas en la base de datos de Parker Bay puede no coincidir exactamente con las listas de clientes actuales de Modular Mining, Wenco, Leica/Jigsaw y Caterpillar. La siguiente información incluye toda la información conocida sobre los sitios mineros actuales de Modular Mining y de la competencia. La similitud entre los datos de Parker Bay y una lista de clientes minuciosamente ajustada de sitios mineros de Modular Mining, Wenco, Jigsaw y Caterpillar sugiere que la base de datos de Parker Bay proporciona una imagen suficientemente precisa del mercado.

c) Ventas de nuevos sistemas

La información de participación de mercado; para las ventas de nuevos sistemas, se basa en las oportunidades históricas ganadas/perdidas en Salesforce.com, desde abril de 2019 hasta julio de 2022 (últimos 3 años financieros, más el año hasta la fecha). La información sobre las principales ventas y cuotas de mercado; se expresa en términos de ingresos equivalentes de Modular Mining, ya que no se dispone de precios exactos de los sistemas de la competencia. Como anécdota, los sistemas Wenco tienden a tener un precio de aproximadamente el 80 % de los precios de lista de Modular, mientras que los sistemas Jigsaw y Cat tienen aproximadamente el mismo precio. Finalmente, Devex tiene un precio de lista sustancialmente más bajo que DISPATCH® y MineCare®. En la figura 3.8 y 3.9, se observa que Jigsaw ha experimentado un notable crecimiento. Sin embargo, a pesar de este avance, aún continúa manteniendo su posición líder en las ventas de estos sistemas.

Figura 3.8

Cuota de mercado de venta de nuevos sistemas de gestión de flotas, por ejercicio

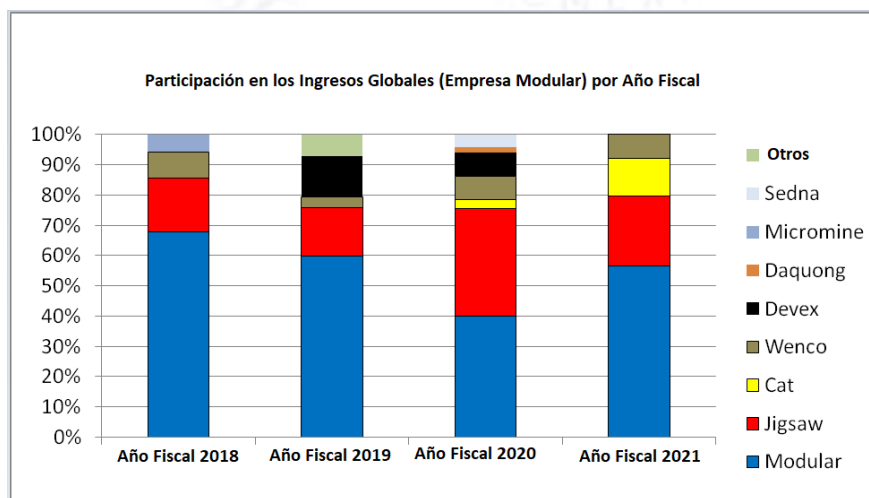
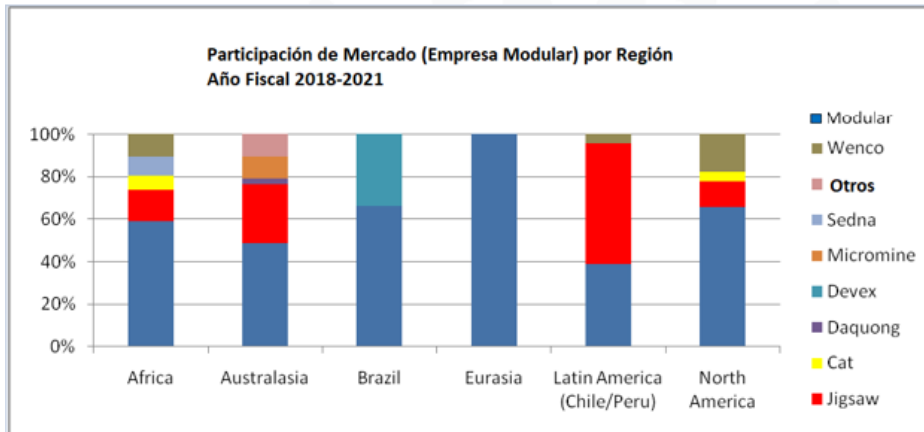


Figura 3.9

Cuota de mercado de ventas de nuevos sistemas de gestión de flotas, por región



3.2.7 Cálculo del TAM/SAM/SOM

En la tabla 3.2 se presenta un resumen del cálculo del TAM/SAM/SOM. proporcionan una visión general del tamaño del mercado total (TAM), el mercado alcanzable (SAM), y el mercado objetivo (SOM), así como la saturación del mercado en ambos segmentos.

Tabla 3.2

Resumen del TAM/SAM/SOM

KPI	Camiones	Sitios Mineros
TAM	26,540	545
SAM	25,401	517
SOM	5,770 (23%)	121 (23%)
Saturación del Mercado	8,311 (33%)	7%)

3.3 Perfil del cliente

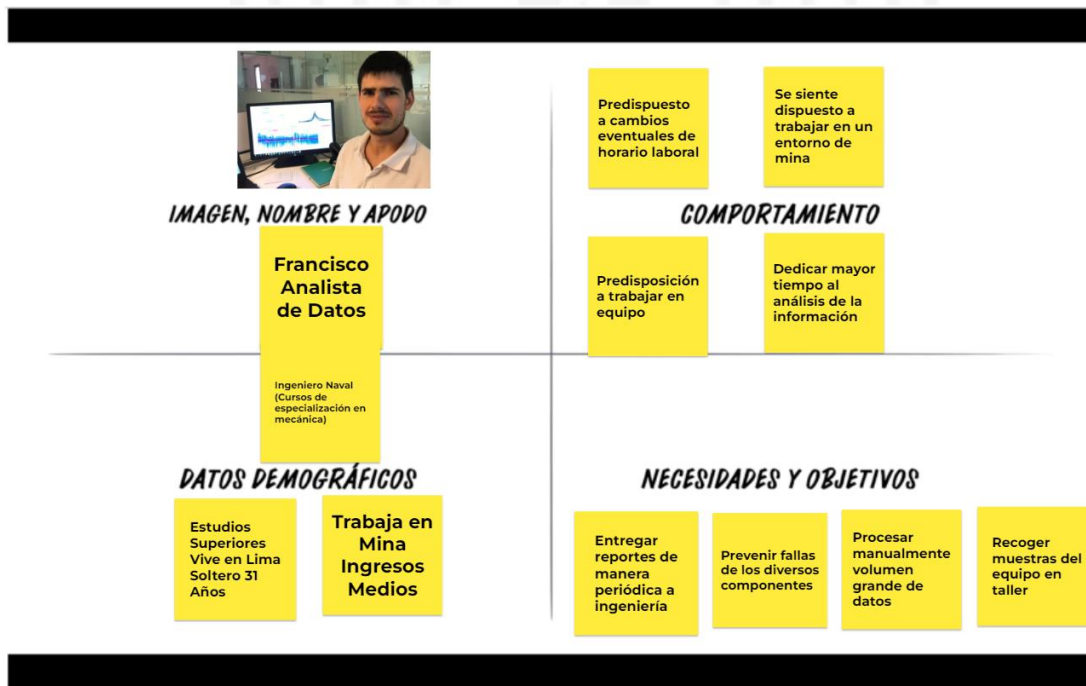
La descripción general del rol del perfil del cliente ideal está centrada en un analista de datos que realiza las siguientes funciones principales y tiene las aptitudes necesarias para el puesto:

- Persona con experiencia en mantenimiento.
- Responsable de gestionar el mantenimiento en tiempo real información.
- Toma decisiones para la optimización del momento se realiza el mantenimiento.
- Ayuda al equipo de mantenimiento con la resolución de problemas y diagnóstico.
- Capacita a los operadores sobre las mejores prácticas.
- Se comunica con el personal por radio bidireccional.
- Valida y responde a fallas del equipo.
- Registra información sobre averías de equipos y defectos.
- Configura y optimiza el mantenimiento del aplicativo móvil del prototipo.

En la figura 3.10, se presenta el perfil de usuario que muestra la ficha “user persona”, de un encuestado en el sitio minero.

Figura 3.10

Perfil de usuario



En la tabla 3.3, se detalla la interacción diaria del analista de datos con los especialistas en mantenimiento y operaciones mina. Mostrando cómo se relacionan en el entorno laboral y en la figura 3.11, presentamos el lienzo de propuesta de valor para el prototipo que estamos proponiendo:

Tabla 3.3

Interacción de usuarios - Analista de datos

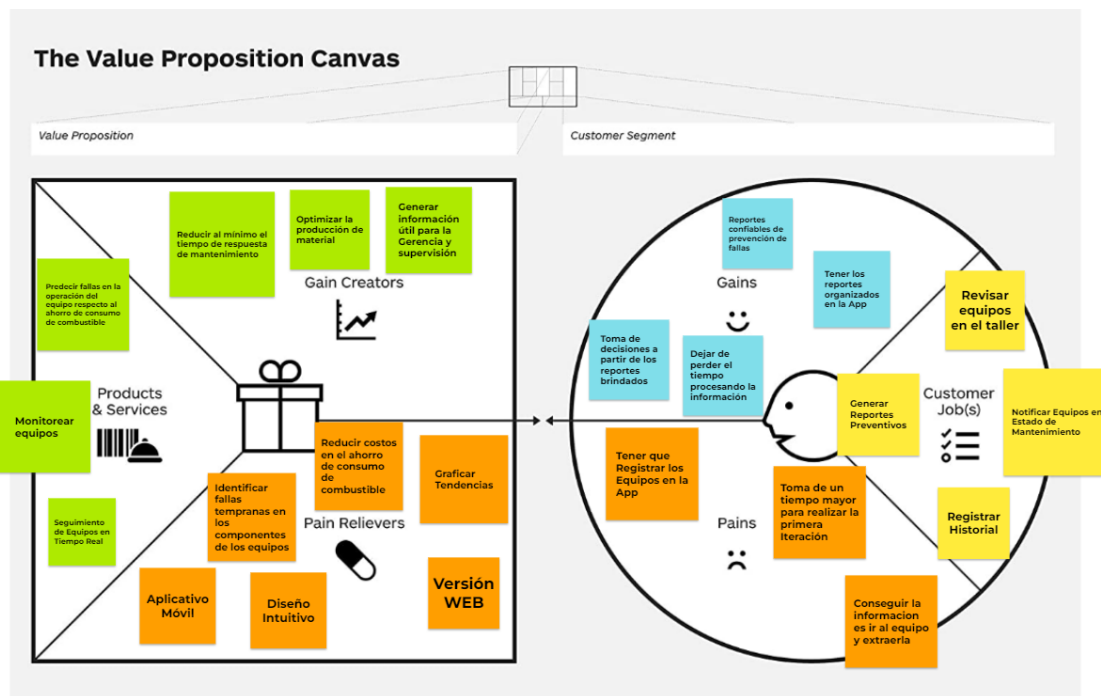
Rol	Interacciones
Personal de Mantenimiento	Brinda asistencia en la solución de problemas, detección de fallas, equipo de localización
Operadores de Equipo	Capacitación sobre la operación del equipo, notificación de fallas inducidas por el operador, asesoramiento para estacionar cuando los problemas son detectados/anticipados, recopilando funcionamiento y defecto información según sea necesario
Despachadores	Avisos de requerimientos de mantenimiento y equipos paradas, ayuda a cumplir los objetivos operativos
Supervisores	Comunicación de información de seguridad, recomendación para tajos mejoras de diseño, informes para evitar fallas, tripulación e información de rendimiento
Fabricantes de Equipo Original (OEM)	Consultas para asistencia en la resolución de problemas y asesoramiento sobre alarmas o sospecha de deterioro de la condición

Requisitos de información del analista de datos:

- Fallas y eventos de equipos en tiempo real.
- Datos del sensor en tiempo real; por ejemplo, presión de aceite del motor, voltaje del sistema, temperatura del refrigerante, etc.
- Prácticas operativas en tiempo real.
- Historial de mantenimiento de equipos.
- Historial de fallas y eventos del equipo.
- Recopilación condicional de datos; por ejemplo, parámetros del motor mientras el motor utiliza velocidad a altas revoluciones.
- Modo de falla e información de defectos para los componentes del equipo.

Figura 3.11

Propuesta de valor en el modelo Canvas



3.3.1 Oportunidad del prototipo para la mejora del cliente

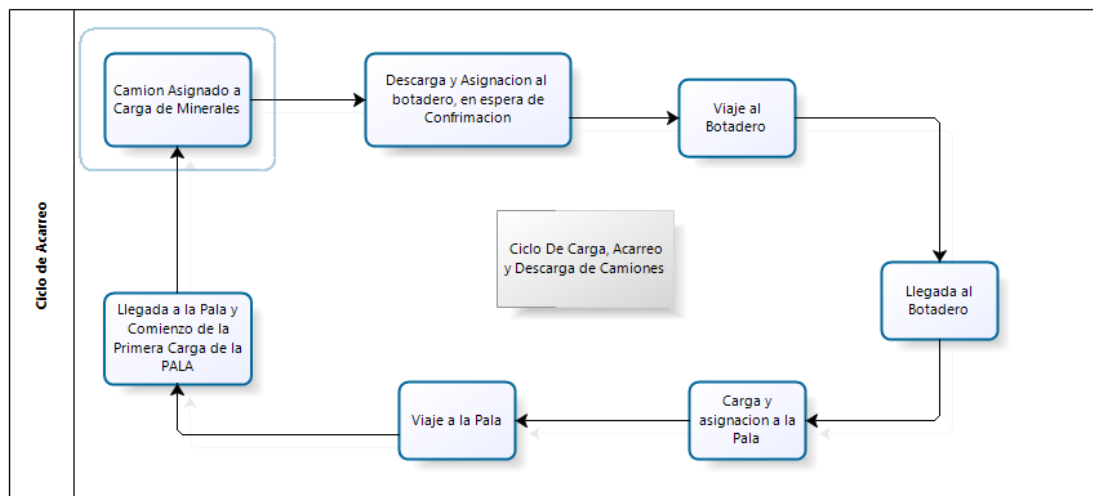
- El ingeniero de confiabilidad desea recopilar datos del motor durante un período de 1 año en una flota de camiones 930E, 980E, etc.
- Solo quiere los datos cuando el motor está a plena carga.
- Se requiere un resumen gráfico de estos datos para revisar el comportamiento bajo diferentes condiciones, entre las más importantes; desempeños de la tasa de consumo de combustible, presión de admisión.
- Para que el prototipo pueda funcionar, se debe crear una Tendencia usando el sistema MineCare® con configuraciones para recopilar todos los parámetros importantes del motor cuando la velocidad del motor es mayor que 1500 rpm y la potencia del freno es superior a 2000 HP.
- Finalmente, los datos recopilados, se muestrean cada 10 segundos y se agregan cada 10 minutos.

3.3.2 Diagrama de proceso AS-IS

El acarreo de la mina de tajo abierto se hace en la zona de extracción de mineral donde existirá; las rutas definidas (Marais, 2008) y las balizas poligonales definidas por el sistema de despacho, el prototipo de gestión será implementado y estará brindando feedback de los datos. En la zona que ocurre la extracción de mineral, existirá cobertura para los equipos donde se generará la recopilación de datos. En la figura 3.12 el ciclo de acarreo se refiere al proceso de carga, transporte y descarga de materiales, en el tajo. En la imagen proporcionada, se ilustra como un diagrama de flujo que muestra los pasos que sigue un camión desde su carga hasta la descarga. Este ciclo se repite continuamente en operaciones de transporte de materiales.

Figura 3.12

Diagrama de procesos de negocio AS-IS (Elaboración propia)



3.3.3 Diagrama de proceso TO-BE

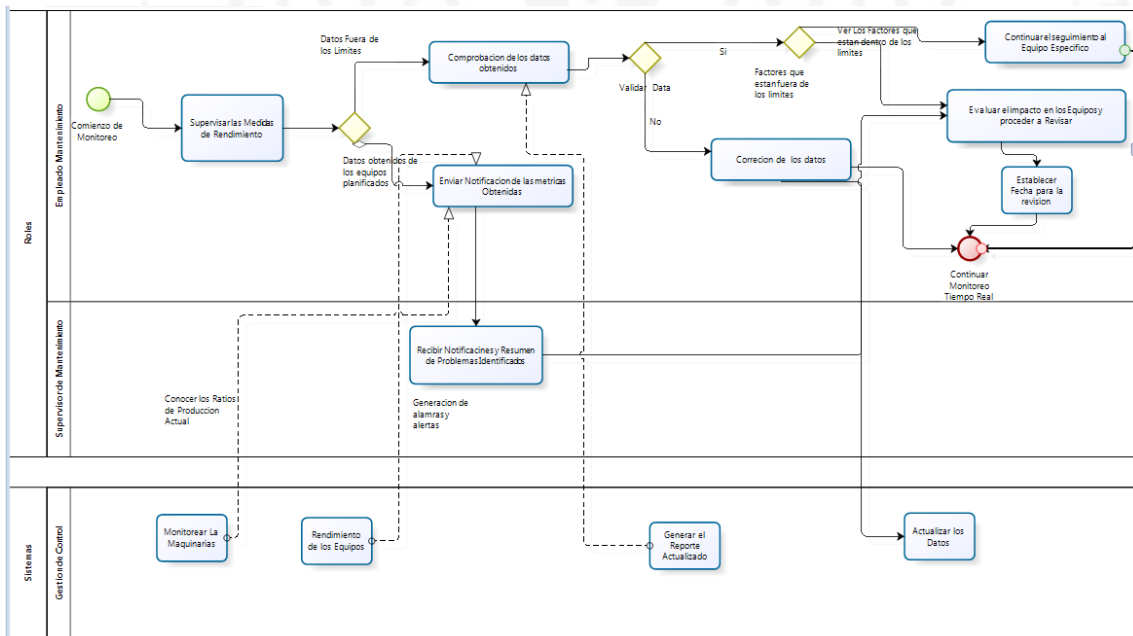
En el proceso a implementar propuesto usando el prototipo puede recopilar y mostrar la información requerida en cualquiera de las fases del ciclo de acarreo.

- Estos datos se analizan periódicamente y cuando ocurren fallas o son sospechoso para identificar cualquier posible indicador.
- El prototipo utiliza estos datos de tendencias en investigaciones de análisis de fallas para proporcionar información sobre el estado del equipo.
- El aplicativo móvil envía al usuario final; notificaciones acerca del equipo que está generando eventos respecto a la baja potencia de motor y/o consumo excesivo de combustible.

En la figura 3.13, se muestra el diagrama de procesos de negocio to-be, el cual tiene como objetivo mitigar el impacto de los tiempos de mantenimiento ante una falla catastrófica en el ciclo de acarreo.

Figura 3.13

Diagrama de procesos de negocio TO-BE (Elaboración propia)



3.4 Perfil del usuario

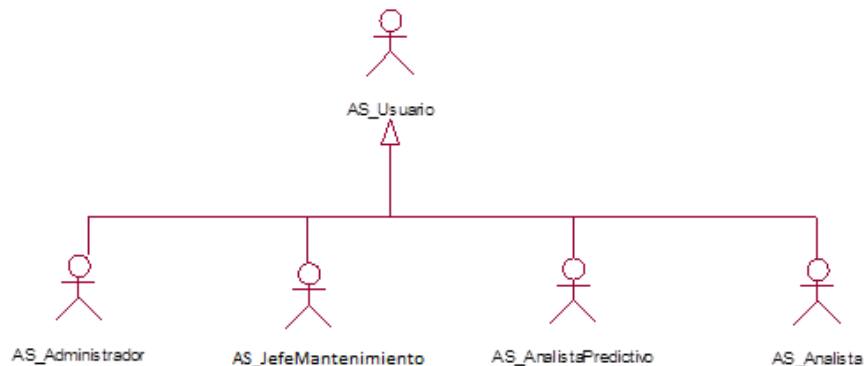
La importancia de realizar esta implementación radica en optimizar la capacidad de los equipos móviles, aumentando la disponibilidad y rendimiento, capturando y monitoreando información crítica en tiempo real, desde los dispositivos de monitoreo de signos vitales de los equipos, tales como KOMTRAXPLUS, VIMS, Statex, CENSE y otros.

Se desplazará los medios tradicionales de detección y predicción de averías o fallas, y se basará en la información recolectada por el aplicativo propuesto para analizar y predecir las averías futuras. Dando como resultado la reducción en los gastos de mantenimiento correctivo ocasionado por fallas imprevistas.

En el siguiente Diagrama de Relaciones Usuarios en la figura 3.14, se establecerá la jerarquía para el uso del sistema:

Figura 3.14

Diagrama de Actores (Elaboración propia)



3.4.1 Administrador del sistema

Cuenta con todos los permisos del sistema

Podrá crear, modificar y eliminar cualquier dato.

Podrá programar el respaldo de los datos (Backup).

3.4.2 Usuario

Cuenta con permisos restringidos.

Podrá tener acceso al sistema para ingresar, modificar, eliminar su información.

- **Identidad:** Todo usuario debe contar con una identidad única y bien definida en el sistema, la cual se utiliza para autenticar y autorizar su acceso a los recursos.
- **Roles y permisos:** Los usuarios pueden tener diferentes roles o perfiles de acceso, que les permiten acceder a diferentes recursos y realizar acciones específicas dentro del sistema.
- **Preferencias:** Cada usuario puede tener sus propias preferencias de personalización, como la configuración de su interfaz de usuario, el idioma predeterminado, la forma en que se muestran los datos, etc.
- **Historial de actividad:** El sistema puede registrar la actividad de cada usuario, como los inicios de sesión, las acciones realizadas, las fechas y horas de acceso, entre otros. Esto permite un mayor control y seguimiento de la actividad del usuario.
- **Acceso a la información:** Dependiendo del rol y permisos asignados, el usuario puede tener acceso a diferentes tipos de información en el sistema, como datos personales, información de equipos de campos, estadísticas, entre otros.
- **Comunicación:** El sistema puede contar con herramientas de comunicación que permiten a los usuarios interactuar entre sí, como chat, correo electrónico interno, foros de discusión, entre otros.
- **Seguridad:** Es importante contar con medidas de seguridad adecuadas para proteger la información del usuario, como contraseñas seguras, autenticación de dos factores, encriptación de datos, entre otros. Además, es importante que los usuarios tengan una buena educación en ciberseguridad para prevenir ataques y riesgos.

CAPÍTULO IV: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

4.1 Definición del proyecto

El prototipo de monitoreo proactivo de maquinaria pesada está dirigido principalmente a compañías mineras de tajo abierto. Los datos de validación para el sistema serán tomados del registro de la base de datos histórica en los turnos ocurridos en el último año.

Recoger información asociada a un parámetro primario que se analizará, en base al criterio, definido por juicio experto de los analistas e ingenieros del área de confiabilidad, basado en el análisis de la información de los parámetros primarios almacenados, la alerta enviada a través del dispositivo móvil puede iniciar acciones correctivas por parte del usuario de mantenimiento.

Una lista inicial de las acciones disponibles incluirá:

- Generar una alarma que genere una notificación y cuando se despliegue podrá ver el contenido de los reportes; donde se indique que el equipo llegó a ciertas condiciones de trabajo de operación subestándar.
- Aplazar la alerta donde se generará un registro indicando nombre de usuario y hora a la cual fue aplazado el evento.
- Continuar la recopilación de información al igual que su análisis, con los mismos criterios.

La parte del terreno donde ocurre la zona de extracción de minerales deberá proporcionar facilidades a que se instalen equipos relacionados a comunicaciones del tipo WAP, antenas que se adapten con las políticas de TI de la minera a tratar y asignar una parte del ancho de banda de internet. La zona de cobertura de los celulares deberá de ser capaz de llegar hasta la zona de acarreo. Al igual que contar cobertura satelital para que se pueda rastrear en cualquier instante en donde se encuentra el equipo en el terreno.

4.2 Objetivos del proyecto

Analizar el consumo de combustible por equipo y operador para identificar las oportunidades de mejora existentes y que éstas se traduzcan en un ahorro para la operación. Emitir alertas para identificar posibles fallas de componentes, basados en información de parámetros recolectados y de manera automática indicar la condición de los componentes del equipo a partir de la información recibida por el sistema.

4.2.1 Objetivos generales:

Debido al incremento de severidad de la operación, se ha detectado la oportunidad de implementar un sistema de monitoreo automático de mantenimiento; del tipo proactivo en la maquinaria pesada. Para la mejora de gestión de servicios de mantenimiento donde se observará el ahorro de combustible hasta un 5% mensual como línea base y evitar llegar a una falla de parada total por baja potencia por equipo.

4.2.2 Objetivos específicos:

- Analizar los requerimientos operativos y de gestión y modelar el negocio del proceso de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada.
- Analizar datos de arquitectura tecnológica.
- Diseñar y desplegar el prototipo de la solución propuesta.
- Diseñar interfaces de gestión y analizar los resultados obtenidos.

4.3 Modelo de negocio

La identificación proactiva de la degradación en el rendimiento de los equipos puede generar ahorros sustanciales en costos, evitando fallas catastróficas muy costosas. Si los equipos son utilizados continuamente en un ambiente agresivo, es muy probable que puedan sufrir fallas inesperadas, incluso si se sigue un riguroso programa de mantenimiento preventivo. Sin embargo, si se implementa un programa predictivo de mantenimiento, es posible reducir el número de fallas de los equipos, aunque esto podría reducir la disponibilidad de estos. Detectar y responder de forma temprana las señales de degradación de componentes puede

marcar la diferencia entre una reparación de bajo costo y una costosa reparación no planificada, que puede prolongar el tiempo inactivo de los equipos.

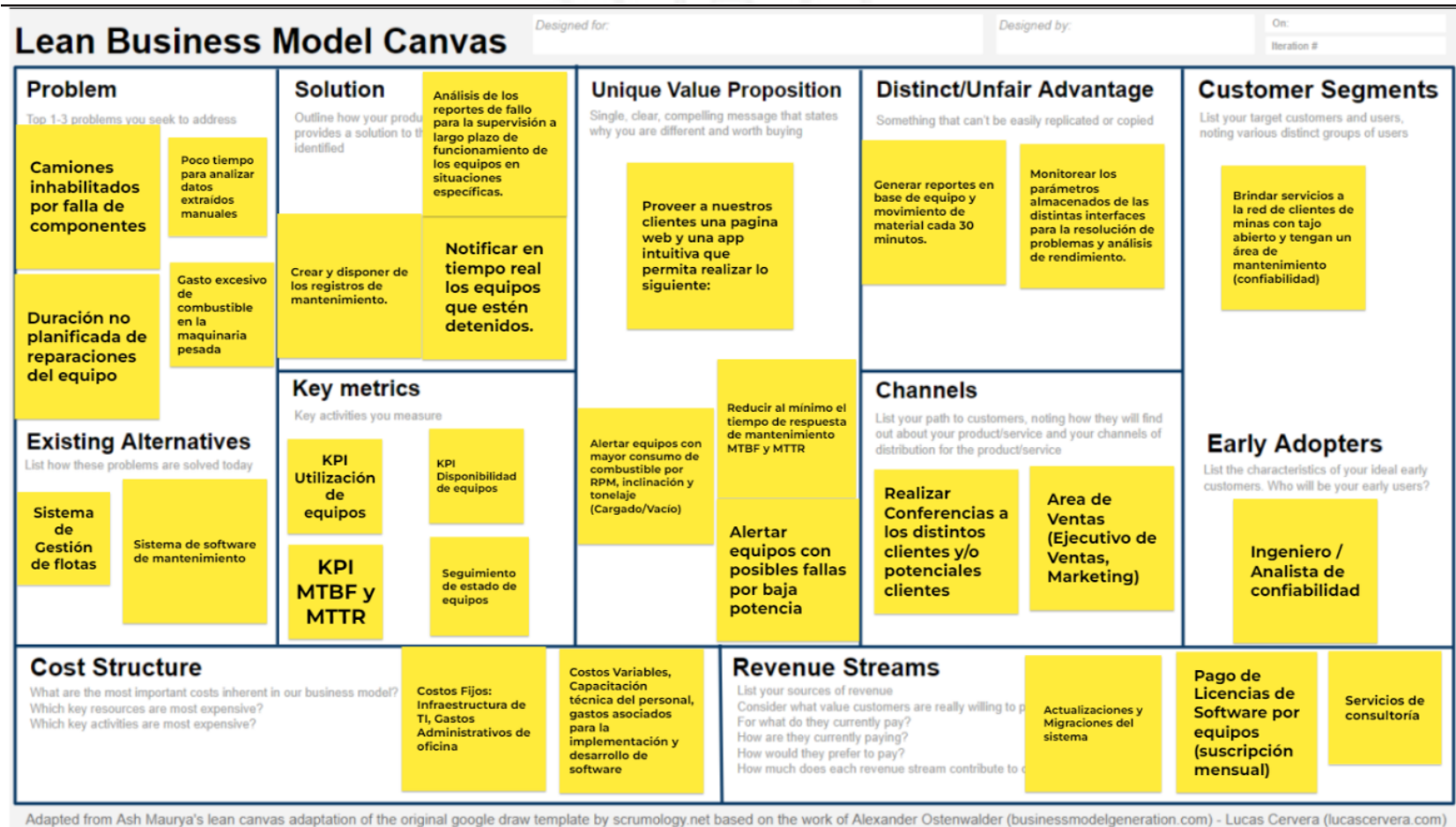
El sistema de monitoreo de signos vitales de la flota puede procesar miles de eventos y parámetros de signos vitales de vehículos en tiempo real, alertando a los especialistas en salud de activos (área de confiabilidad) para que puedan diagnosticar las anomalías de manera remota. De esta forma, el personal de mantenimiento puede evaluar rápidamente el estado actual del equipo, programar el mantenimiento preventivo y notificar a la operación minera en todo momento para minimizar el impacto en la producción. Además, el sistema de mantenimiento emite alertas tempranas para advertir sobre cualquier problema detectado. De esta manera, los equipos de confiabilidad minera pueden identificar un desempeño subóptimo del vehículo o la posibilidad de mal uso por parte del operador y la condición de la vía.

4.3.1 Lean Canvas

Respecto a los temas principales que abarcan las soluciones que presentamos, la figura 4.1 nos muestra el Lean Canvas que nos ayuda a visualizar el modelo de manera rápida.

Figura 4.1

Lean Business Model Canvas



4.4 Roles y responsabilidades del equipo del proyecto

Fase iniciación:

- El PM desarrolla el plan, incluyendo el alcance del proyecto (SOW) y el cronograma base del proyecto.
- El PM solicitará la aprobación del plan internamente (Modular) y del Cliente.

Fase de implementación:

- Instalación y configuración de aplicaciones en servidores y equipos móviles.
- Entrenamiento a personal de las diferentes áreas usuarias del Cliente mediante workshops.
- Se realizarán Test de Aceptación de Usuario (UAT) y asistencia operativa.
- El PM controlará la ejecución del proyecto y comunicará el estado de éste a los interesados de manera semanal.

Fase de cierre:

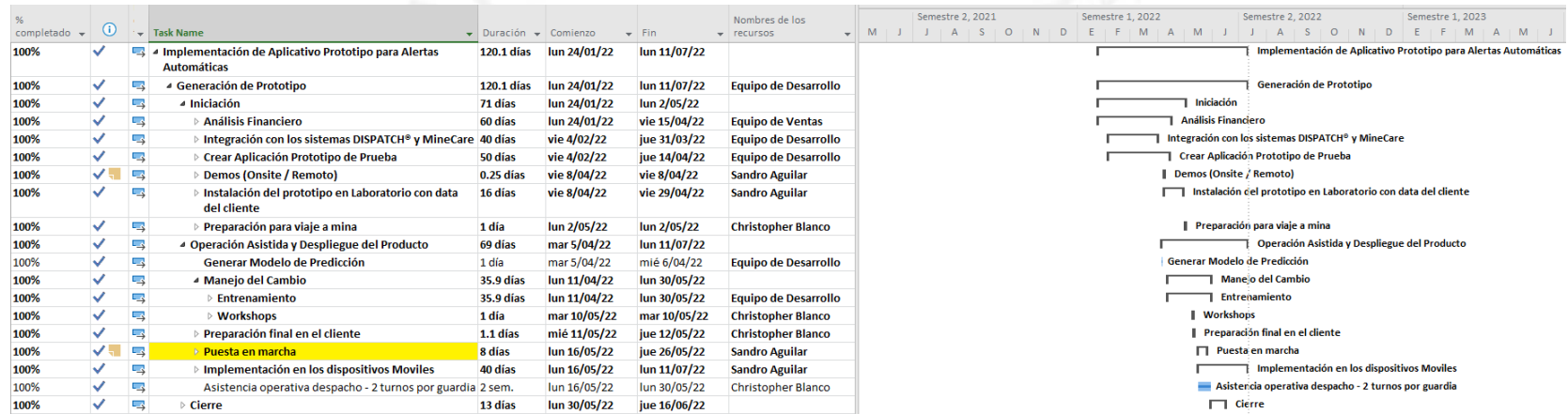
- El PM se asegurará de que todos los entregables se hayan realizado de manera adecuada.
- Firma de cumplimiento de proyectos.
- Revisión post proyecto y traspaso a soporte para el servicio regular de mantenimiento de los diferentes sistemas.

4.5 Cronograma y riesgos iniciales del proyecto

A partir de la presente implementación en el cliente, se va a utilizar la nueva arquitectura de servidores Windows Server 2019 en mina. Las futuras instalaciones de la suite IntelliMine® deben incluir los sistemas DISPATCH® y MineCare®, como requisito, para la integración con el prototipo propuesto. Además, como se muestra en la figura 4.2, se ha generado un cronograma para llevar a cabo el proyecto.

Figura 4.2

Diagrama Gantt del Proyecto



4.5.1 Medidas de control (indicadores del proyecto)

El equipo de trabajo deberá presentar los avances de su trabajo al equipo donde se va a implementar la solución. Se deberá entregar un reporte semanal o mensual en formato nativo (Excel editable y formulado), el cual debe contener a lo menos lo siguiente:

- Reporte de revisión de horas hombre gastadas por personal y semana
- Control y estatus de revisión de los entregables del Proyecto estudio con avance acorde al avance convenido (Hito Incremental)
- Cronograma del estudio actualizado y forecast
- Análisis de desviaciones
- Log de cambios del estudio y potenciales desviaciones
- Informe ejecutivo que contenga Actividades del Periodo/Próximo periodo, alertas, impactos
- Anexo 1: Demostración del Sistema DISPATCH®
- Anexo 2: Cotización de los servidores a implementar

4.5.2 Lista de Riesgos Predecibles

RP1: Errores de Estimación de Presupuesto

Se podrían utilizar las herramientas y técnicas proporcionadas por el estándar del PMI para identificar factores de riesgo específicos relacionados con la estimación de presupuesto, evaluar su probabilidad de ocurrencia y su impacto en el proyecto, y establecer estrategias de mitigación y planes de contingencia adecuados.

Los impactos de este riesgo pueden ser la afectación de la calidad y el tiempo del proyecto. Los indicadores de que este riesgo puede ocurrir incluyen la falta de información sobre el proyecto o los recursos asignados.

Las estrategias de mitigación recomendadas son tener un conocimiento profundo de los requisitos y alcances del proyecto, y realizar una planificación adecuada basada en el estándar del PMI. Para el plan de contingencia, se sugiere que el jefe de proyectos elabore

un cronograma que considere el costo de los recursos y las herramientas necesarias para la implementación del proyecto, así como un margen de reserva para contingencias.

RP2: Hardware Inadecuado para el sistema

En caso de una comunicación inadecuada o falta de información, puede haber omisiones de los requisitos mínimos de hardware necesarios para implementar la suite IntelliMine®. Estos errores pueden impactar la calidad y el tiempo del proyecto. Los indicadores de este riesgo incluyen la falta de información sobre el hardware para la implementación de la suite. Para mitigar este riesgo, es importante mantener una comunicación adecuada y constante con los proveedores y verificar los requisitos mínimos del sistema. Si se produce este riesgo, el jefe de proyectos debe revisar la información técnica correspondiente a DISPATCH® y MineCare® para verificar la integración del hardware adquirido en la implementación del prototipo del cliente.

RP3: Falta de Experiencia en el Equipo de Proyecto

La falta de experiencia del equipo de proyecto en la implementación de un proyecto similar es un riesgo predecible que puede generar problemas en la implementación. Este riesgo puede impactar negativamente en la calidad, tiempo y costo del proyecto.

Para mitigar este riesgo, es recomendable capacitar al equipo de proyecto antes de realizar la implementación del sistema. La capacitación puede proporcionar al equipo los conocimientos y herramientas necesarias para abordar los problemas que puedan surgir durante la implementación.

En caso de que el equipo de proyecto aún tenga dificultades para implementar el sistema después de la capacitación, es importante tener un plan de contingencia. Una opción de contingencia es simular la implementación antes de llevarla a cabo directamente en la mina. La simulación puede ayudar a identificar los posibles problemas y solucionarlos antes de la implementación real, lo que reducirá los riesgos y aumentará la probabilidad de éxito del proyecto.

RP4: Falta de seguridad informática en el Área de Implementación

La falta de un sistema de seguridad informática perimetral en la mina puede resultar en una posible falla de la suite IntelliMine® debido a la presencia de virus informáticos. Esta situación puede afectar la calidad del proyecto, incluyendo la caída de sistemas. La falta de medidas o políticas estandarizadas de seguridad informática en el área de implementación puede ser un indicador de este riesgo.

Para mitigar este riesgo, es importante que el equipo de proyecto informe al cliente acerca de la importancia de la seguridad informática para el correcto funcionamiento de la suite IntelliMine®. También es importante que se solicite al cliente la incorporación de políticas y estándares de seguridad informática del área de TI de la mina en el momento de la implementación.

En caso de que la falta de un sistema de seguridad perimetral de la mina sea un problema persistente, es posible que el equipo de proyecto deba considerar opciones de contingencia, como la implementación de medidas de seguridad adicionales en la suite IntelliMine® para protegerla de posibles virus informáticos.

RP5: Falta de Materiales para la implementación

Se debe considerar llevar los materiales adecuados para la implementación de la suite IntelliMine® en el cliente, para evitar posibles contratiempos. La falta de estos materiales puede impactar negativamente en la calidad y tiempo del proyecto.

Una señal de este riesgo puede ser la falta de medidas o políticas estandarizadas en el área de implementación para la adquisición y transporte de materiales.

Para mitigar este riesgo, es importante informar al cliente sobre la necesidad de contar con los materiales adecuados para la implementación y llevar a cabo una capacitación al equipo de proyectos para que conozcan todos los requisitos necesarios. Además, se puede elaborar un checklist para garantizar que todos los materiales necesarios estén disponibles antes de viajar a la mina.

Estas medidas pueden ayudar a prevenir problemas y asegurar una implementación exitosa de la suite IntelliMine®.

RP6: Cambio en las Políticas de Gestión en el Cliente

La implementación de un proyecto puede verse afectada por un cambio en las políticas de gestión, lo que podría generar retrasos o nuevos requisitos que deben ser considerados. Por ejemplo, la incorporación de nuevos miembros al equipo de proyecto que no tienen experiencia en proyectos de gran envergadura por parte del cliente.

Este riesgo puede impactar negativamente en la calidad y tiempo del proyecto, y se puede identificar cuando no se tienen en cuenta los factores ambientales externos, como las políticas y normas del cliente.

Para mitigar este riesgo, es importante informar al equipo de proyecto sobre las políticas y normas del cliente y cómo pueden afectar el proyecto. Además, es necesario solicitar toda la información necesaria antes de realizar cualquier trabajo en la mina como plan de contingencia.

RP7: Falta de Implementos de Protección Personal

Debido a que se realizará trabajo en campo en la mina durante la implementación del proyecto, es importante tener en cuenta los elementos de seguridad reglamentarios para evitar retrasos en el proyecto o posibles incidentes durante el trabajo.

Impacta en el tiempo del proyecto si no se toman en cuenta las medidas de seguridad adecuadas. Un indicador de este riesgo es cuando el equipo de proyecto no está informado de los implementos necesarios para su protección personal durante la implementación en campo.

Para mitigar este riesgo, es importante informar a todo el equipo de proyecto sobre los implementos de seguridad necesarios para realizar cada tarea estimada en la implementación del sistema. En caso de que se presenten dificultades para implementar las medidas de seguridad necesarias, se puede realizar una inspección de todos los implementos de seguridad antes de viajar a la mina, encargado por el supervisor de área que realizará la implementación en campo.

RP8: Dificultad de comunicación con el equipo de proyecto

El trabajo realizado en ocasiones carece de una comunicación adecuada durante la realización de actividades, lo que puede dar lugar a accidentes o fallas en la implementación en la mina. Esto impacta tanto en la calidad como en el tiempo del proyecto. Un indicador común es cuando el equipo de proyecto lleva a cabo una tarea sin haber comunicado previamente al resto del equipo, especialmente si se encuentran en el tajo realizando una instalación técnica que requiere apoyo de ingeniería. Para mitigar esto, se debe llevar a cabo una reunión previa con el equipo de proyecto antes de empezar cualquier actividad en la mina, y se debe estar atento a la posibilidad de contar con una radio para acceder al personal técnico en caso de necesitar reprogramar el equipo. Además, se debe elaborar un informe diario de las actividades realizadas en el campo como plan de contingencia.

4.5.3 Lista de Riesgos Predecibles

RNP1: Huelga en la Mina

Debido a que la minera trabaja en estrecha colaboración con la comunidad local, existe el riesgo de que surja una huelga si no se llega a un acuerdo entre la comunidad y el cliente. Esto puede impactar en el tiempo del proyecto. No hay indicadores específicos que puedan identificarse. Para mitigar este riesgo, es importante mantener una comunicación constante con el cliente y estar atentos a cualquier indicio de una posible huelga. Como plan de contingencia, el equipo de proyecto debe estar preparado para tomar medidas rápidas y eficaces en caso de que se produzca una huelga, como la reorganización del trabajo o la búsqueda de alternativas para mantener el proyecto en curso.



RNP2: Desastre Natural

El trabajo en una mina puede verse afectado por desastres naturales que pongan en peligro los recursos tecnológicos y humanos. Esto puede tener un impacto en el tiempo y costo del proyecto. Aunque no se especifican indicadores, es importante tomar medidas para prepararse para situaciones de desastres naturales y reducir su impacto en el proyecto. El plan de contingencia debe incluir el resguardo de la información de la suite IntelliMine® y la capacitación del equipo de proyectos para reaccionar de manera segura ante cualquier catástrofe natural que pueda ocurrir en la mina.



Administración del Riesgo

La matriz P x I es una herramienta utilizada en la administración del riesgo para evaluar la gravedad de los riesgos y priorizar los esfuerzos de mitigación. En esta matriz, la probabilidad del riesgo se evalúa en una escala del 0 al 1, donde 0 indica que el riesgo es improbable y 1 indica que el riesgo es muy probable. El impacto del riesgo se evalúa en una escala del 1 al 10, donde 1 indica un impacto bajo y 10 indica un impacto alto.

La multiplicación de la probabilidad por el impacto da como resultado el nivel de gravedad del riesgo. Los riesgos con un alto nivel de gravedad requieren mayor atención y esfuerzos de mitigación para minimizar su impacto.

En la matriz P x I, el máximo nivel de gravedad posible es de 10, que se alcanza cuando un riesgo es altamente probable y tiene un impacto muy alto. El mínimo nivel de gravedad es de 0, que se alcanza cuando un riesgo es muy improbable y tiene un impacto bajo.

Es importante que las organizaciones utilicen herramientas como la matriz P x I para identificar, evaluar y priorizar los riesgos, lo que les permite tomar medidas proactivas para mitigarlos y reducir su impacto en el éxito del proyecto o negocio.

Matriz P x I

	Prob.	Imp.	P x I
Máximo	1	10	10
Mínimo	0	1	0

0 3 7 10



Donde:

P: Probabilidad

I: Impacto

P x I: Probabilidad por Impacto

4.6 Análisis Cualitativo

El detalle referente al análisis cualitativo puede ser apreciado en la tabla 4.1.

Tabla 4.1

Análisis Cualitativo

Riesgos	Impacto (De 1 a 10)	Probabilidad (De 0 a 1)	Score	Ranking	Requiere respuesta de corto plazo (S/N)	Requiere análisis cualitativo (S/N)
Errores de Estimación de Presupuesto	5	0.35	1.75	0.61	Si	No
Hardware Inadecuado para el Sistema	8	0.55	4.4	2.42	Si	No
Falta de Experiencia en el Equipo de Proyecto	7	0.25	1.75	0.44	Si	Si
Falta de Seguridad Informática en el Area de Implementación	4	0.15	0.60	0.09	Si	No
Falta de Materiales para la Implementación	6	0.20	1.20	0.24	Si	No
Cambio en las Políticas de Gestión en el Cliente	7	0.15	1.05	0.16	Si	No
Falta de Implementos de Protección Personal	8	0.10	0.80	0.08	Si	No
Dificultad de Comunicación con el Equipo de Proyecto	6	0.35	2.10	0.74	Si	No
Huelga en Mina	10	0.10	1.00	0.10	Si	No
Desastre Natural	10	0.10	1.00	0.10	Si	No

4.7 Recursos económicos

4.7.1 Propuesta Económica interna solución on-premise

Antes de realizar el cálculo del retorno de la inversión, veremos los costos se incluyen para la solución on-premise. La tabla 4.2 muestra los costos operacionales.

Tabla 4.2

Costos operacionales para la solución on-premise

PROYECCIÓN: APP Monitoreo de Combustible				USD
Costos operacionales				55,126.40
Establecimientos				55,126
Costo directo				23,576
Recursos de la empresa dedicados al proyecto				5,040
PCs - Desarrolladores				17,136
Visitas de capacitación				1,400
Planilla y relacionados				28,123
	Colaboradores	=>	2	
Provisiones				3,427
			2%	
Gastos Operativos No Distribuidos:				96,868.60
Administración y Generales				42,185
Planilla y relacionados				42,185
	Colaboradores	=>	2	
Marketing y Comercial				17,804
Planilla y relacionados				15,233
	Colaboradores	=>	1	
Otros gastos				2,570
			2%	
Servicios Públicos:				1,368
Electricidad				1,068
Agua				300
Servicios Adicionales:				35,512
Mantenimiento				4,000
Servidores				29,000
Notificaciones push				432
Internet				1,800
Celular				280
Gastos Fijos:				15,427.20
ALQUILERES				12,000
Alquiler establecimiento				12,000
Reservas para reposición de activos MNTD general				3,427
			2%	
Total				167,422.20

Para esta propuesta se han considerado los siguientes pagos del cliente por licencias:

Descripción	Precio
Lic Compl MC Monitoring Svr	USD 20,000.00

Descripción	Precio Eqmt	Qty	Total mes	Anual
Lic Compl MC Monitoring Eqmt Month	100	50	5,000	USD 60,000.00

Respecto a los costos que genera el soporte anual de la solución on-premise, la tabla 4.3 muestra el detalle de los ítems que lo componen:

Tabla 4.3

Detalle del costo anual para la solución on-premise

Costos del contrato	Anual
Planilla directa (soporte)	USD 7,000.00
Planilla indirecta (adm +cont)	USD 6,000.00
Alquileres	USD 6,000.00
Servicios	USD 1,368.00
Otros (Celular, internet, etc)	USD 1,000.00
	USD 21,368.00

El análisis resultante para este primer escenario, on-premise, entrega como resultado el flujo mostrado en la tabla 4.4:

Tabla 4.4

Flujo de licencias de la solución on-premise

Datos	Inversion inicial	\$ 167,422.20
	Tasa de descuento	10%

Periodo	Ingreso	Egreso	Flujo de Efectivo Neto	Valor Presente
0			USD (167,422.20)	USD (167,422.20)
1	USD 80,000.00		USD 80,000.00	USD 72,727.27
2	USD 60,000.00	USD 21,368.00	USD 38,632.00	USD 31,927.27
3	USD 60,000.00	USD 21,368.00	USD 38,632.00	USD 29,024.79
4	USD 60,000.00	USD 21,368.00	USD 38,632.00	USD 26,386.18
5	USD 60,000.00	USD 21,368.00	USD 38,632.00	USD 23,987.43
Valor presente de la suma de flujos actualizados				USD 184,052.95
Valor Presente Neto				USD 16,630.75
Tasa Interna de Retorno				14%

4.7.2 Propuesta Económica interna solución en la nube

Se debe considerar la tarifa a cobrar a cada cliente y el número de clientes potenciales de esta primera entrega, con eso pueden hacer el cálculo del retorno de la inversión. Para el caso de la solución en la nube, empezaremos por detallar los costos operacionales que se incluyen (véase la tabla 4.5).

Tabla 4.5*Costos operacionales para la solución en la nube*

PROYECCIÓN: APP Monitoreo de Combustible			
Costos operacionales			USD 55,126.40
Establecimientos			55,126
Costo directo			23,576
Recursos de la empresa dedicados al proyecto			5,040
PCs - Desarrolladores			17,136
Visitas de capacitación			1,400
Planilla y relacionados	Colaboradores =>	2	28,123
Provisiones		2%	3,427
Gastos Operativos No Distribuidos:			USD 79,696.10
Administración y Generales			42,185
Planilla y relacionados	Colaboradores =>	2	42,185
Marketing y Comercial			17,804
Planilla y relacionados	Colaboradores =>	1	15,233
Otros gastos		2%	2,570
Servicios Públicos:			1,368
Electricidad			1,068
Agua			300
Servicios Adicionales:			18,340
Mantenimiento			4,000
Azure			11,828
Notificaciones push			432
Internet			1,800
Celular			280
Gastos Fijos:			USD 15,427.20
ALQUILERES			12,000
Alquiler establecimiento			12,000
Reservas para reposición de activos MNTTO general		2%	3,427
Total			USD 150,249.70

Para esta propuesta se han considerado los siguientes pagos del cliente por licencias:

Descripción	Precio
Lic Monitoring and Alert Svr	USD 20,000.00

Descripción	Precio Eqmt	Qty	Total Mes	Anual
Lic Monitoring and Alert Month	100	50	5,000	USD 60,000.00
Lic Monitoring and Alert Annual Azure				USD 5,000.00
				USD 65,000.00

Respecto a los costos que genera el soporte anual del producto, como se puede apreciar en la tabla 4.6, se han considerado los siguientes ítems:

Tabla 4.6

Detalle del costo anual para la solución en la nube

Costos anuales contrato	Anual
Planilla directa (soporte)	USD 7,000.00
Planilla indirecta (adm +cont)	USD 6,000.00
Alquileres	USD 6,000.00
Servicios	USD 1,368.00
Azure	USD 11,828.00
Otros (Celular, internet, etc)	USD 1,000.00
	USD 33,196.00

El análisis resultante para el segundo escenario nos da como resultado el flujo de inversión mostrado en la Tabla 4.7:

Tabla 4.7*Flujo de Inversión de la solución en la nube*

Datos	Inversión Inicial	Egreso	Flujo de Efectivo Neto	Valor Presente
	\$ 150,249.70		USD (150,249.70)	USD (150,249.70)
	Tasa de descuento			
				10%
Periodo	Ingreso	Egreso	Flujo de Efectivo Neto	Valor Presente
0			USD (150,249.70)	USD (150,249.70)
1	USD 80,000.00		USD 80,000.00	USD 72,727.27
2	USD 65,000.00	USD 33,196.00	USD 31,804.00	USD 26,284.30
3	USD 65,000.00	USD 33,196.00	USD 31,804.00	USD 23,894.82
4	USD 65,000.00	USD 33,196.00	USD 31,804.00	USD 21,722.56
5	USD 65,000.00	USD 33,196.00	USD 31,804.00	USD 19,747.78
Valor presente de la suma de flujos actualizados				USD 164,376.73
Valor Presente Neto				USD 14,127.03
Tasa Interna de Retorno				14%

4.7.3 Justificación económica de cara al cliente

Para la justificación del proyecto, de cara al cliente, consideramos también ambos escenarios y sus respectivos costos de licencias.

En los 2 casos, con solo tomar como referencia el cálculo de ahorro por 15 camiones, el cliente puede cubrir sin problemas el pago propuesto por licencias de software.

Tabla 4.8*Inversión detallada de la solución on-premise*

Descripción	Cantidad	Comentario
Costo por Combustible	USD 4.00	USD/Galones
Combustible ahorrado por año	81,523.00	Galones
Combustible por número de equipo (15 camiones)	USD 326,092.00	Cálculo de 1 año
Costo de Implementación (inicial)	USD 167,422.20	Solo se paga el primer año
Soporte Anual	USD 21,368.00	Cada un año (01)
Costo de Lic Monitoring and Alert	USD 60,000.00	Cada un año (01)

Como se puede ver en la tabla 4.8, tomando el ahorro calculado por solo 15 camiones, se cubriría sin problema el pago anual por licencias para 50 equipos.

Si bien la cantidad de galones ahorrados puede sonar bastante exagerada, debemos mencionar que los equipos de acarreo, cuando van al grifo, abastecen entre 900 y 1000 galones la mayoría de las veces. El solo ahorro de 1.5% durante su jornada de trabajo nos llevaría a los números antes mencionados.

Para el segundo escenario (véase tabla 4.9), la variación es mínima y la diferencia se basa en la elección de tener la información en la nube en lugar de alojarla en un servidor local.

Tabla 4.9*Inversión detallada de la solución en la nube*

Descripción	Cantidad	Comentario
Costo por Combustible	USD 4.00	USD/Galones
Combustible ahorrado por año	81,523.00	Galones
Combustible por número de equipo (15 camiones)	USD 326,092.00	Cálculo de 1 año
Costo de Implementación (inicial)	USD 150,249.70	Solo se paga el primer año
Soporte Anual	USD 33,196.00	Cada un año (01)
Costo de Lic Monitoring and Alert and Azure	USD 65,000.00	Cada un año (01)

Con lo ahorrado durante el primer año se tendría la recuperación total del pago de licencias. La proyección anual del mismo ahorro durante los años siguientes cubriría sin problemas el pago anual de USD 33,196.00 y dejaría como resultado un ahorro cercano a los USD 300,000.00.

CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PRODUCTO MÍNIMO VIABLE

5.1 Alcance del producto mínimo viable

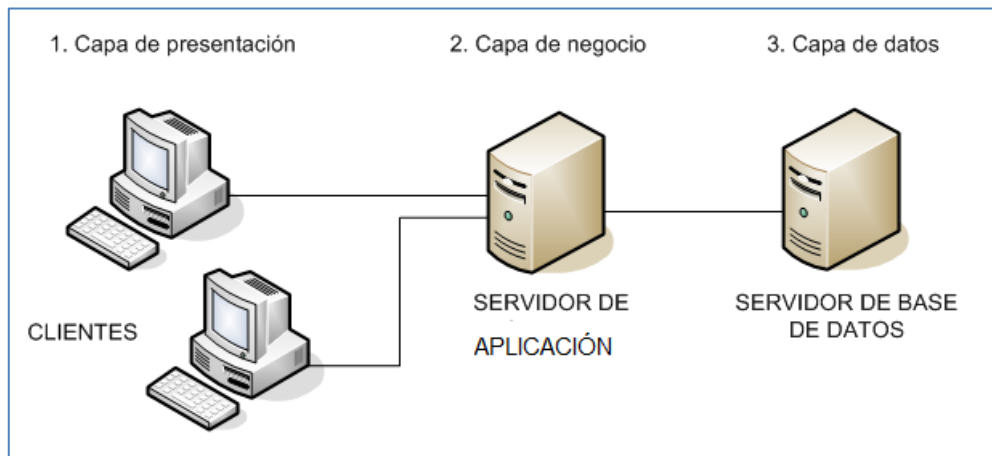
- Administración de alarmas emitidas por el sistema en relación con la salud de los equipos móviles con mayor consumo de combustible por RPM, inclinación y tonelaje (Cargado, vacío) o que presenten anomalías de estos, las que deben ser reportadas de forma inmediata al usuario final.
- Monitoreo en tiempo real de parámetros de interfaces multimarca para la validación de las alarmas emitidas por el sistema usando nuestra aplicación basada en el Modelo de regresión lineal múltiple.

5.2 Supuestos clave y su validación a nivel de clientes y de usuarios

La solución prototipo del sistema que monitorea y envía alertas automáticas incluye una aplicación web que está diseñada para ser accesible dentro de la intranet y una base de datos centralizada en SQL Server para un almacenamiento eficiente de la información. La arquitectura de desarrollo utilizada para el Sistema de Gestión es el modelo de tres capas, que consta de una capa de presentación, una capa de negocio y una capa de datos (véase figura 5.1).

Figura 5.1

Modelo de 3 capas del Sistema de Gestión



5.2.1 Modelo de Aprendizaje Automático con scikit-learn

Para nuestro proyecto, implementaremos un modelo de aprendizaje automático utilizando Python como lenguaje de programación y la librería scikit-learn como herramienta para implementarlo.

Es importante destacar que las características que se mencionan en la sección se refieren a las funcionalidades que ofrece la librería scikit-learn para el aprendizaje automático, y no exclusivamente al modelo de regresión lineal múltiple. El objetivo principal de este modelo es establecer una relación lineal entre las variables independientes (explicativas) y las variables dependientes (respuesta). Es importante destacar que la regresión múltiple es una extensión de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) porque involucra más de una variable explicativa. Scikit-learn es una librería muy utilizada para el aprendizaje automático en Python, ya que proporciona una amplia gama de algoritmos de aprendizaje automático supervisados y no supervisados, herramientas para el preprocesamiento de datos, la selección de características y la evaluación de modelos con una sintaxis simple. Además, ofrece herramientas para la validación cruzada, selección de modelos y ajuste de parámetros, y se integra bien con otras bibliotecas de Python, como pandas y seaborn, para simplificar la manipulación y visualización de datos.

En conclusión, en esta sección se mencionan las características de la librería scikit-learn y cómo estas características son relevantes para el proyecto y la implementación del modelo de regresión lineal múltiple.

5.2.2 Plan de Pruebas del Proyecto

El plan de pruebas es un documento formal que especifica los objetivos de prueba de un sistema, coordina una estrategia de trabajo y proporciona un marco para planificar las actividades de prueba de manera detallada. Se empleará la técnica de prueba de caja negra para verificar que el sistema cumpla con los requisitos de funcionalidad, procesamiento y recuperación establecidos.

El siguiente apartado tratará los puntos más importantes de la definición de los casos de prueba, incluyendo los datos de prueba y los pasos para reproducirlos.



5.2.3 Casos de Uso de Pruebas del proyecto más significativos

- a) **Informe del test:** Las tablas desde la 5.1 hasta la 5.3, nos muestran resultados de las pruebas a los casos de uso “Registrar Equipo”, “Monitorear Equipos” y “Seguimiento en Tiempo Real”.

Tabla 5.1

Informe del test “Registrar Equipo”

Informe de Test						
Unidad de Prueba:		Test Case Registrar Equipos				
Escenarios probados:		Registrar Equipos				
Fecha:		03/07/2022			Avance:	100%
Tester:		Christopher Blanco				
Descripción de la Prueba:		En esta prueba se valida el Registro de los equipos móviles al Sistema				
N	Tipo	Descripción	Datos Ingresados	Resultado esperado	Resultado	Detalle del Resultado
1	Paso	Se selecciona el botón “Registrar Equipos”	Selecciona el botón “Registrar Equipos”	Se elige la opción Registrar Equipo correctamente	Pasó	Se seleccionó la opción correctamente.
2	Punto de Chequeo	Selecciona el botón “Registrar Equipos”	Se selecciona el botón “Registrar Equipos”	Se direcciona a la pantalla “Registrar Equipos”	Pasó	Se direccionó a la pantalla “Registrar Equipos”
3	Punto de Chequeo	Se comprobará que el ingreso de los equipos sea realizado	Se ingresan los equipos móviles a registrar	Se elige la opción “Registrar” correctamente	Pasó	Se realiza el Registro del Equipo y se muestra mensaje de “Operación Exitosa”

Tabla 5.2*Informe del test “Monitorear equipos”*

Informe de Test						
Unidad de Prueba:		Test Case Monitorear Equipos				
Escenarios probados:		Monitorear Equipos				
Fecha:		03/07/2022		Avance: 100%		
Tester:		Christopher Blanco				
Descripción de la Prueba:		En esta prueba se valida el Monitoreo de equipos móviles en el Sistema				
N	Tipo	Descripción	Datos Ingresados	Resultado esperado	Resultado	Detalle del Resultado
1	Paso	Se selecciona el botón “Monitorear Equipos”.	Selecciona el botón “Monitorear Equipos”.	Se elige la opción Monitorear Equipos correctamente.	Pasó	Se seleccionó la opción correctamente.
2	Punto de Chequeo	Selecciona el botón “Monitorear Equipos”	Se selecciona el botón “Monitorear Equipos”.	Se direcciona a la pantalla “Monitorear Equipos”.	Pasó	Se direccionó a la pantalla “Monitorear Equipos”.
3	Punto de Chequeo	Se comprobará que la selección de los equipos e interfaces a monitorear sea realizada.	Se seleccionarán los equipos móviles e interfaces a monitorear.	Se elige la opción “Iniciar Monitoreo” correctamente.	Pasó	Se realiza la selección de los equipos e interfaces a monitorear correctamente
4	Punto de Chequeo	Se comprobará que el monitoreo de equipos sea realizado.	Se selecciona el botón “Iniciar Monitoreo”.	Se comenzará a graficar el monitoreo de las interfaces seleccionadas.	Pasó	Se realiza el Registro del Equipo y se muestra mensaje de “Operación Exitosa”.

Tabla 5.3*Informe del test “Seguimiento en Tiempo Real”*

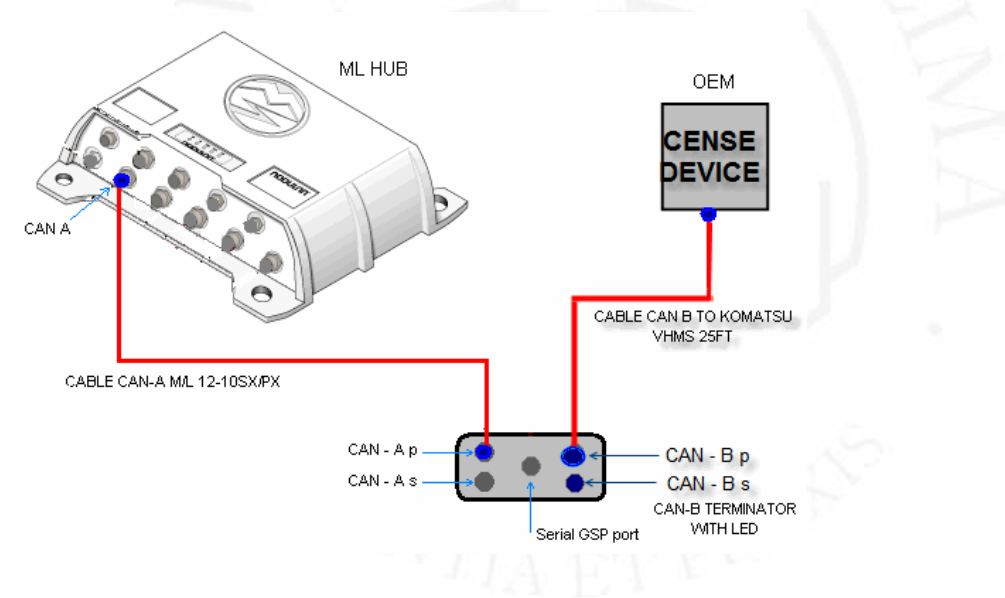
Informe de Test						
Unidad de Prueba:		Test Case Seguimiento de Equipos en Tiempo Real				
Escenarios probados:		Seguimiento en Tiempo Real				
Fecha:		03/07/2022		Avance: 100%		
Tester:		Christopher Blanco				
Descripción de la Prueba:		En esta prueba se valida el Seguimiento en Tiempo Real				
N	Tipo	Descripción	Datos Ingresados	Resultado esperado	Resultado	Detalle del Resultado
1	Paso	Se selecciona el evento a modificar y se elige el botón “Buscar”.	Selecciona el botón “Buscar”.	Se selecciona el evento y se elige el botón “Buscar”.	Pasó	Se seleccionó la opción correctamente.
2	Punto de Chequeo	Selecciona el botón “Buscar” del Evento	Se selecciona el botón “Buscar”.	Se selecciona la opción “Buscar”.	Pasó	Se direccionó a la pantalla “Detalle de Evento.”
3	Punto de Chequeo	Se comprobará que los datos del evento se muestren correctamente.	Se selecciona el botón “Buscar”.	Se comenzarán a mostrar los detalles del Evento.	Pasó	Se mostró el detalle del evento correctamente.

5.2.4 HUB

El “HUB” es un dispositivo físico que ha sido diseñado para permitir comunicaciones de alta velocidad a través de 802.11. Tiene capacidad para soportar hasta dos antenas de radio activas, así como Ethernet y redes CAN, 2 puertos serie de propósito general y 2 entradas digitales. Este dispositivo es capaz de proporcionar energía a todos los demás dispositivos a bordo. Sus funciones incluyen mantener la conectividad de datos óptima a través de la red de radio, mantener la red y múltiples dispositivos conectados a bordo, enrutar datos entre dispositivos a bordo y la red de radio, apoyar un receptor GPS interno para el seguimiento de la posición, proporcionar entrada general de puertos serie para las interfaces externas y/o un segundo receptor GPS, y proporcionar entrada analógica/entrada digital/salida de propósito general (véase figura 5.2).

Figura 5.2

Diagrama de conexión HUB-Sensor



5.3 Diseño del producto mínimo viable

El objetivo de esta sección es mencionar algunos factores generales que pueden influir en el desarrollo del software y en sus requisitos. Estos factores se deben tener en cuenta al momento de diseñar y planificar el prototipo web y aplicación móvil propuesto.

- a) **Interfaces del sistema web:** Las figuras desde la 5.3 hasta la 5.6, corresponden a capturas de la versión web de la aplicación.

Figura 5.3

Interfaz web de Login



Figura 5.4

Interfaz web de administración del sistema



Figura 5.5

Interfaz web de mantenimiento de equipos

Agregar maquinaria auxiliar

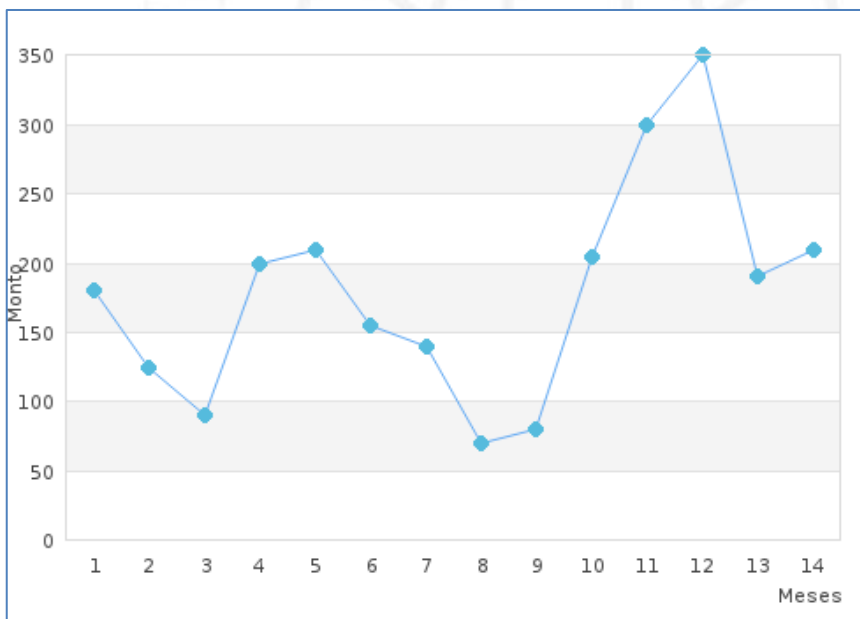
Maquinaria:

Modelo:

Enviar

Figura 5.6

Ejemplo web de Consulta Generada



b) **Interfaces del sistema móvil:** Las figuras desde la 5.7 hasta la 5.11 corresponden a capturas de la aplicación móvil

Figura 5.7

Interfaz móvil de Login

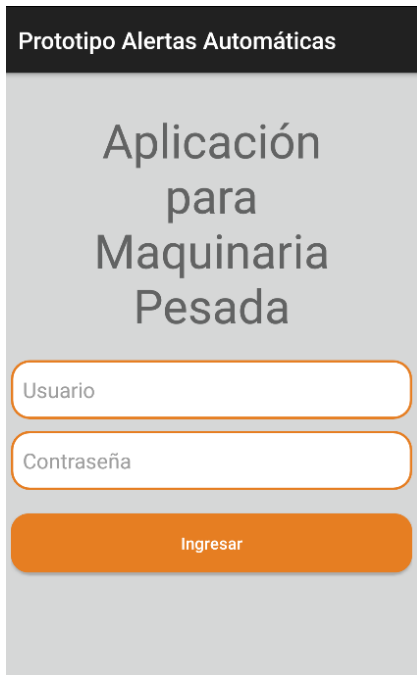


Figura 5.8

Interfaz móvil de administración del sistema



Figura 5.9

Interfaz móvil de mantenimiento de equipos

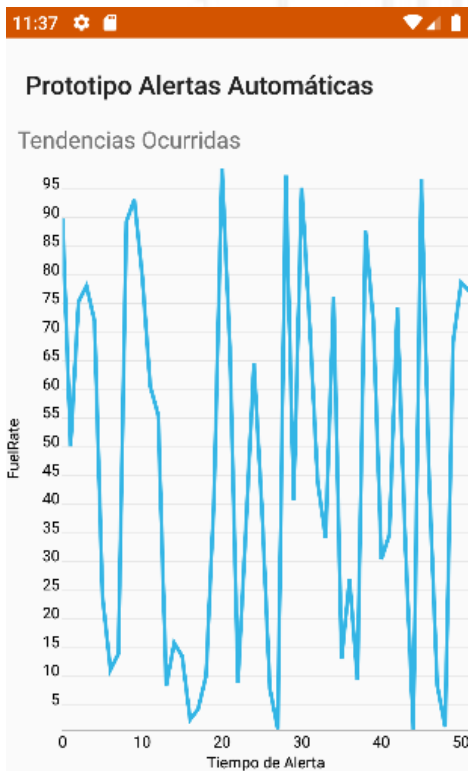


Figura 5.10

Interfaz móvil de mantenimiento de interfaces de equipos



Figura 5.11
Ejemplo móvil de Consulta Generada



5.4 Implementación y validación del producto mínimo viable

La implementación y validación del producto mínimo viable de nuestro sistema de generación de alertas por excesivo consumo de combustible ha sido un proceso crucial en el desarrollo de nuestro prototipo. A través de la construcción y prueba de diferentes iteraciones del sistema, hemos logrado validar su funcionalidad y asegurarnos de que cumpla con los requisitos necesarios para satisfacer las necesidades de nuestros clientes.

Durante la implementación, nos enfocamos en integrar las diferentes partes del sistema de manera efectiva, asegurando que cada componente funcione correctamente y se comunique adecuadamente con el resto. Además, nos aseguramos de que el sistema fuera fácil de usar y configurar para los usuarios finales. Las figuras 5.12 y 5.13, contienen diagramas que ayudan a entender la integración de los componentes que interactúan en esta solución.

En cuanto a la validación, realizamos pruebas exhaustivas para asegurarnos de que el sistema genere alertas precisas y oportunas cuando se detecta un excesivo consumo de combustible. También nos aseguramos de que el sistema fuera capaz de manejar diferentes escenarios y situaciones, para garantizar su funcionalidad en diferentes contextos para detectar baja potencia en la flota.

Figura 5.12

Esquema de configuración del prototipo propuesto

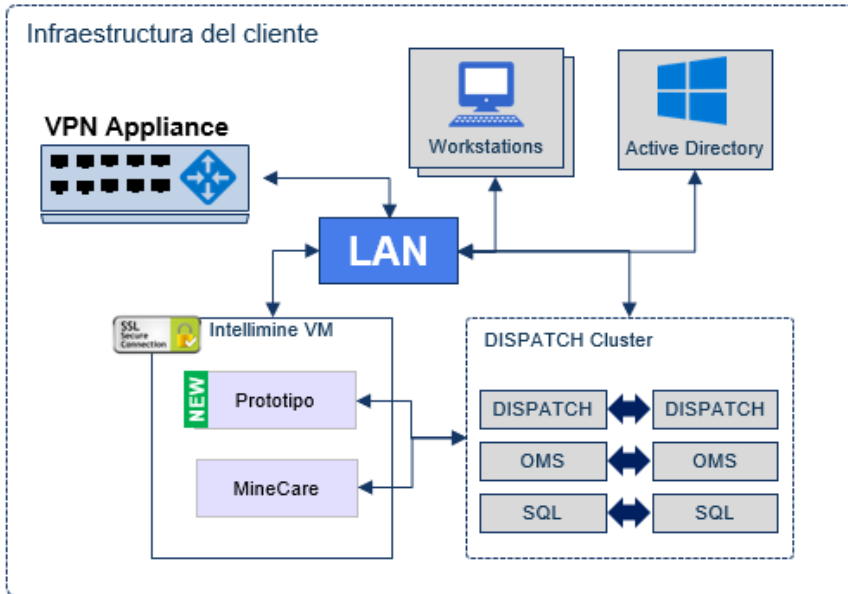
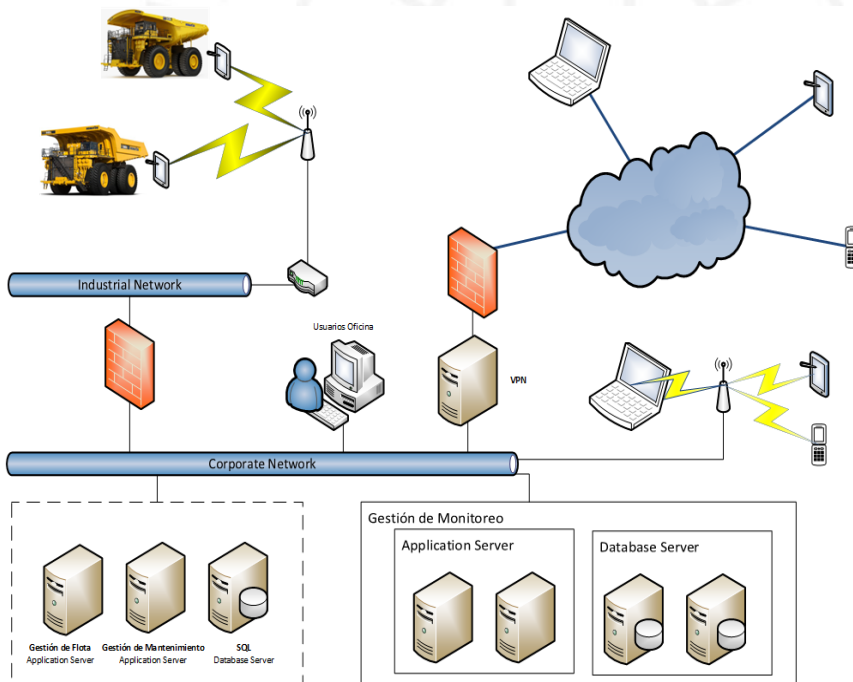


Figura 5.13

Diagrama de Componentes del Sistema propuesto

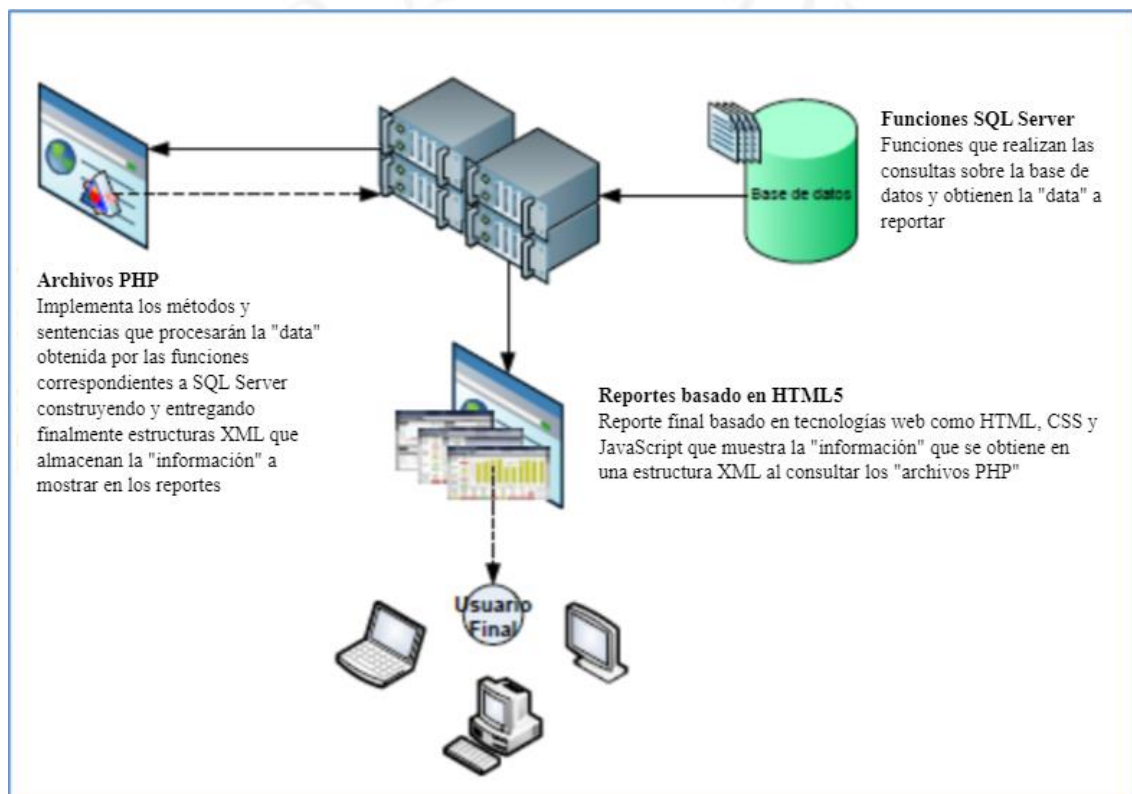


5.4.1 Base de Datos

- “Repositorio de Datos” que almacena y administra la información a mostrar en los reportes.
- Se hace uso de Tablas, Vistas, Esquemas o cualquier otro objeto de dicho “Repositorio”, y desde donde se puede obtener la “data” a reportar.
- Se espera tener como “producto final” un método o función que pueda ser llamado en capas superiores.

Figura 5.14

Diagrama de Trasmisión de Datos del Sistema (Elaboración propia)



Se presenta cómo han sido implementadas, a nivel tanto de hardware como de software, las distintas “capas” definidas en la documentación y cómo, interactúan todas estas con el usuario final. Utilizando los archivos PHP para procesar la información obtenida de SQL Server y construir estructuras XML para mostrar la información en reportes HTML5. En este caso, los archivos PHP actuarían como intermediarios entre la base de datos y los reportes, obteniendo los datos necesarios y formateándolos en estructuras

XML que pueden ser leídas por la herramienta de generación de reportes HTML5 (véase figura 5.14).

Para lograr esto, se pueden utilizar funciones de PHP que permiten la conexión y consulta a la base de datos de SQL Server, como por ejemplo la extensión PDO_SQLSRV. Luego, con la información obtenida, se puede construir una estructura XML utilizando la función de PHP "SimpleXML".

Finalmente, estos archivos PHP se pueden integrar en la aplicación web para que los usuarios puedan generar reportes en formato HTML5 a partir de los datos obtenidos de la base de datos SQL Server.

5.4.1.1 Modelo de datos del sistema de información para la aplicación Prototipo de Monitoreo Automático

El sistema de monitoreo utiliza una base de datos relacional que contiene una serie de tablas, vistas y procedimientos almacenados que son fundamentales para su correcto funcionamiento. En las figuras del 5.15 al 5.17, se proporciona un diagrama E/R que muestra las relaciones entre las tablas del sistema DISPATCH® y MineCare®, específicamente, de los módulos más importantes de estos sistemas. Conocer las tablas mencionadas y sus relaciones, permitirá realizar consultas más efectivas sobre la información generada por el prototipo a implementar.

Figura 5.15

Diagrama E/R de la Base de Datos MineCare® módulo de Tendencias

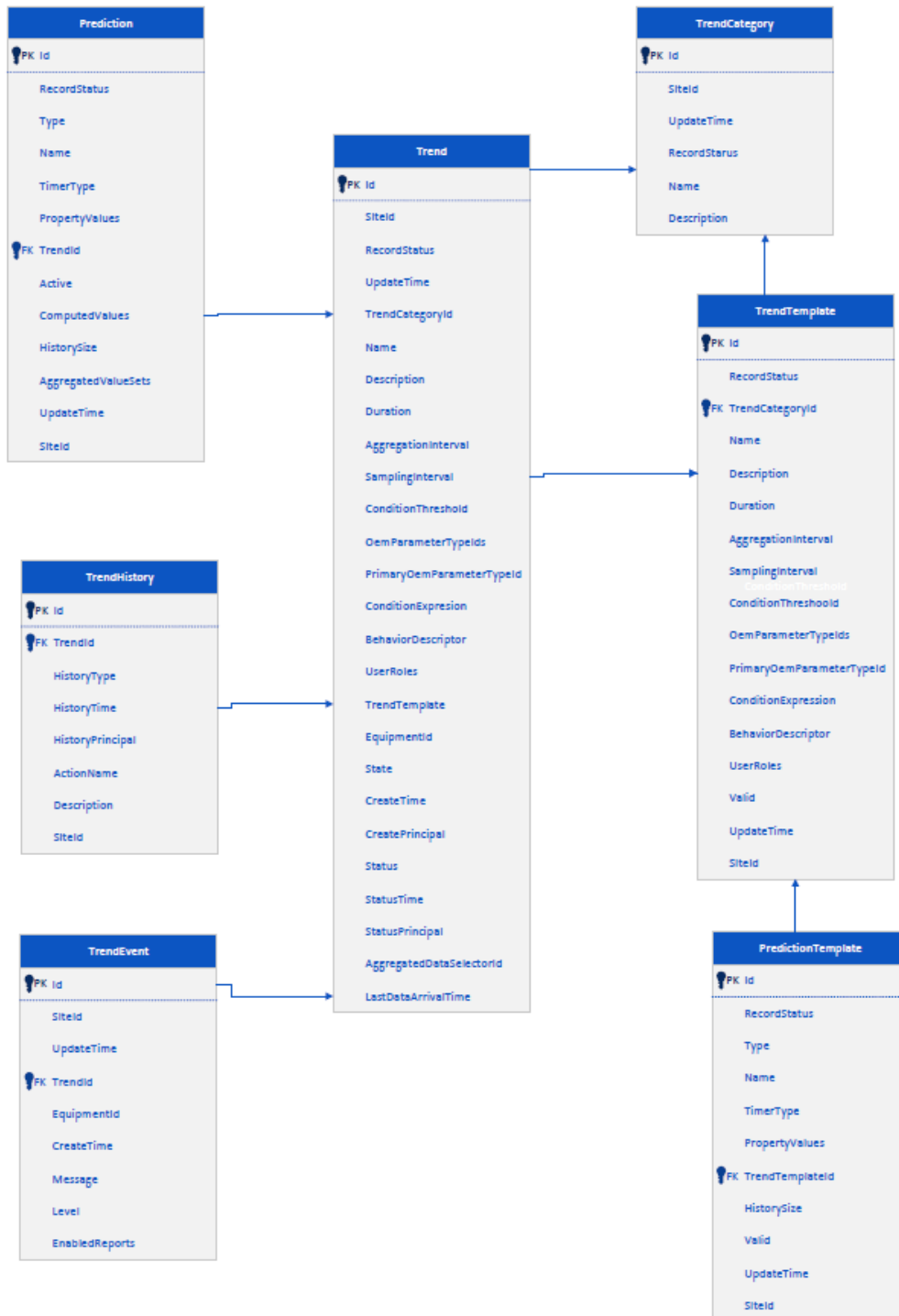


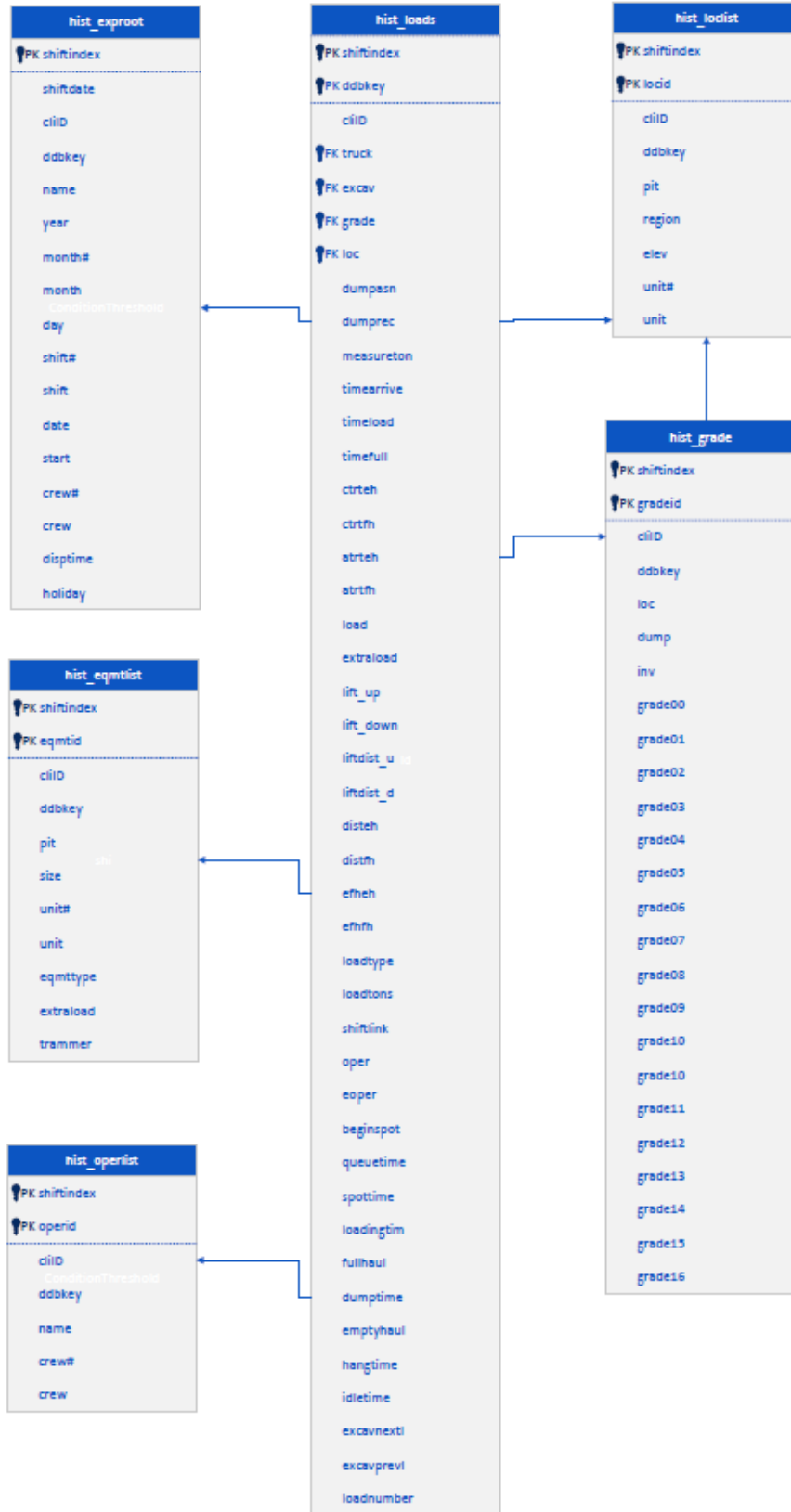
Figura 5.16

Diagrama E/R de la Base de Datos Relacional de la aplicación MineCare® módulo OEM Data Provider



Figura 5.17

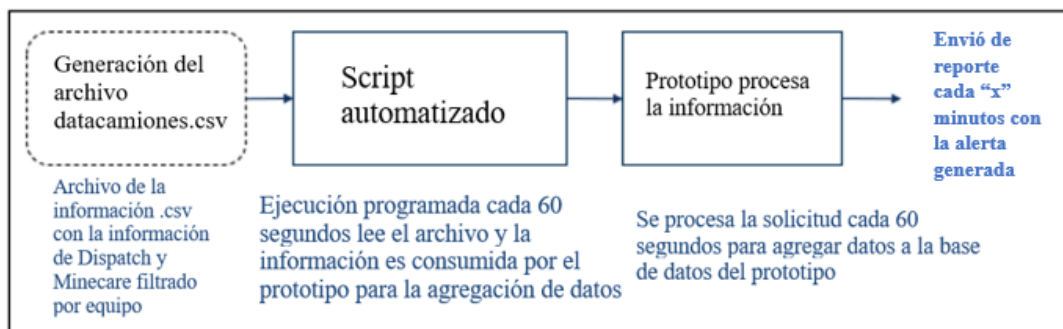
Diagrama E/R de la Base de Datos DISPATCH® - tablas específicas para uso del módulo de interfaces



El envío de reportes varía según el problema planteado; si el consumo de combustible pasa el umbral definido de 30 minutos, automáticamente se enviará la alerta correspondiente al usuario final. Si el problema está relacionado a camiones que presentan baja potencia; esta alerta se enviará a los 15 minutos (configuración por defecto), de esta manera el usuario podrá estar informado y tomar la mejor decisión de parar o seguir operando el equipo. La figura 5.18 muestra la secuencia lógica base para el envío de mensajes a usuarios finales.

Figura 5.18

Secuencia de la lógica de envío de mensajes por alerta a los usuarios finales



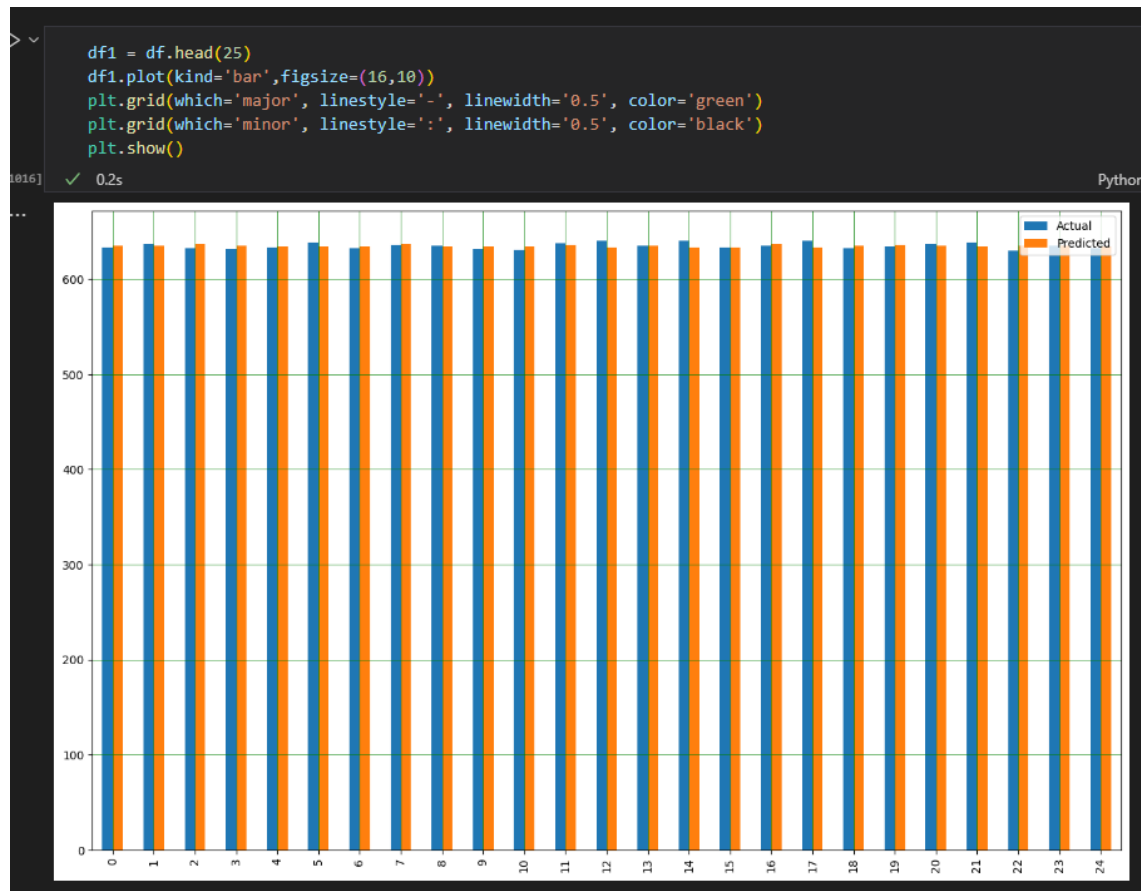
5.4.2 Procesamiento de la información para obtener el modelo de predicción de alertas de combustible

Para la elaboración del modelo que enviará alertas; utilizaremos el módulo de scikit-learn y detallamos el procedimiento en el anexo 3, para poder mostrar únicamente los resultados obtenidos a partir del estudio realizado:

- El gráfico de la figura 5.19, muestra los valores reales y los valores pronosticados para las primeras 25 ocurrencias

Figura 5.19

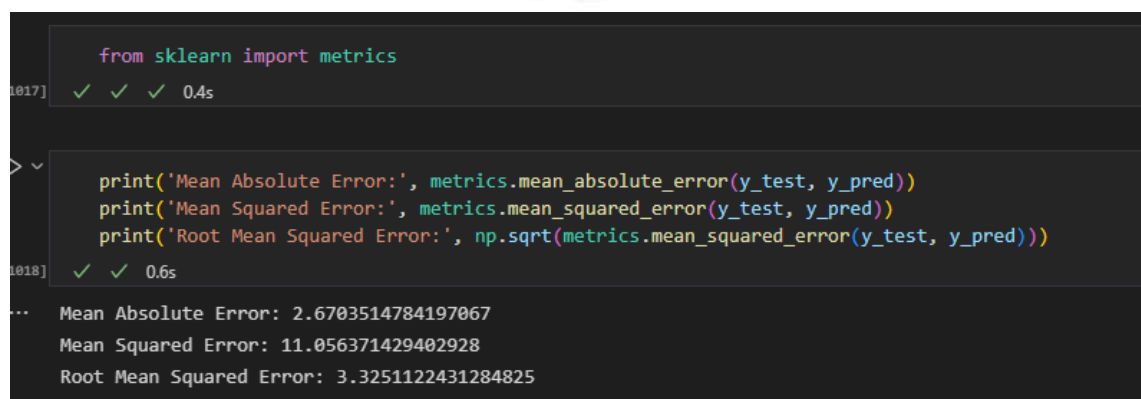
Valores reales vs Valores pronosticados



- La evaluación del modelo sin considerar cuando el camión está en subida, bajada o plano se realiza tal como se muestra en la figura 5.20.

Figura 5.20

Evaluación del modelo



Del estudio realizado se ha obtenido los siguientes filtros para la exactitud de nuestro modelo, considerando lo siguiente:

- Plano: distancia entre la pendiente del inclinómetro entre -4% y 4%
- Subida: pendiente mayor a 4%
- Bajada: pendiente menor a -4%
- Ralentí: se considera de 0 a 900 RPM normalmente el camión estaría parado, haciendo cola o calentando motor.

Los siguientes filtros obtenidos de la velocidad de motor entre 1800 RPM serán para la subida y 1500 RPM para bajada. El valor error cuadrático medio, el valor del error absoluto medio y el valor del error cuadrático medio oscilan entre 2,67 y 11,05, que es bastante menor. Esto significa que el modelo es lo suficientemente preciso para hacer buenas predicciones y por lo tanto lo utilizaremos para el cálculo del disparador de alertas en caso aparezcan valores fuera del modelo.

5.4.3 Procesamiento de la información para obtener el camión con baja potencia

Para obtener el equipo con baja potencia, hemos desarrollado el siguiente código en Python. Donde podremos mostrar que camiones y que tramos vienen realizando el ciclo de acarreo. En el diagrama de proceso del presente informe en los puntos 3.3.2 AS-IS y 3.3.3 TO-BE. De esta manera, procedemos a enviar a nuestra aplicación prototipo; el nombre del camión que está generando cola. A partir del resultado obtenido como posible equipo sospechoso de baja potencia. En la figura 5.21, se observa la salida de datos de la aplicación nativa en Python `distancias.py` definida en el Anexo 4.

Figura 5.21

Ejecución de script para evaluación de cola de camiones

```
[Running] python -u "c:\ML\distancias.py"
2022-09-06 15:51:08.380040 TRAMO 0 ['TRK74', 'TRK23', 'TRK52']
2022-09-06 15:51:08.380040 TRAMO 1 ['TRK54', 'TRK68', 'TRK79', 'TRK36', 'TRK70']
2022-09-06 15:51:08.380040 TRAMO 2 ['TRK82', 'TRK33', 'TRK55']
2022-09-06 15:51:08.380040 TRAMO 4 ['TRK14', 'TRK02', 'TRK11']
2022-09-06 15:51:08.380040 TRAMO 7 ['TRK45', 'TRK19', 'TRK44']
```

En la figura se muestra que el camión TRK74, TRK54 TRK82, TRK14 y TRK45 puedan tener baja potencia por lo que el prototipo va a evaluar como datos de entrada estos camiones y verificar si apareció algún evento; que tanto la mina a instalar, o nuestro consultor pueda identificar el evento asociado a baja potencia. Siguiendo el ejemplo del resultado obtenido en el aplicativo prototipo; podemos observar que el equipo TRK74 tiene esta alerta configurada para esta flota y por lo tanto procederá a enviar un mensaje, al analista de datos:

- El equipo TRK74 está generando cola por baja potencia de los camiones TRK23 y TRK52.
- El evento que el aplicativo va a realizar la búsqueda cada 60 segundos del evento generado por baja potencia correspondiente al modelo de equipo y fabricante pueda variar el nombre, “HP low”.

5.4.4 Integración del prototipo propuesto con el sistema DISPATCH®

El sistema DISPATCH® se refiere a un sistema de gestión y control de minas a gran escala diseñado específicamente para minas a cielo abierto. Su principal objetivo es proporcionar asignaciones automáticas optimizadas, a los camiones de acarreo, con la finalidad de mejorar la eficiencia y productividad en la mina.

El sistema maneja la integridad de la data en el uso del software mismo y depende de los siguientes factores:

a) Infraestructura y Equipos Móviles:

- Alta Disponibilidad acerca del Estado de la Red
- Alta Disponibilidad acerca del Estado de la cobertura del GPS en los equipos móviles de campo.
- Estado actual de la conexión de los equipos, donde es necesario que se encuentren correctamente conectados.

b) Operadores:

- El correcto ingreso de los cambios de estado y acciones de los operadores al sistema.

- La retroalimentación del personal de campo ayuda a las decisiones que toma el Despachador, ya que las condiciones de la mina pueden cambiar de un momento a otro.

c) Despachadores:

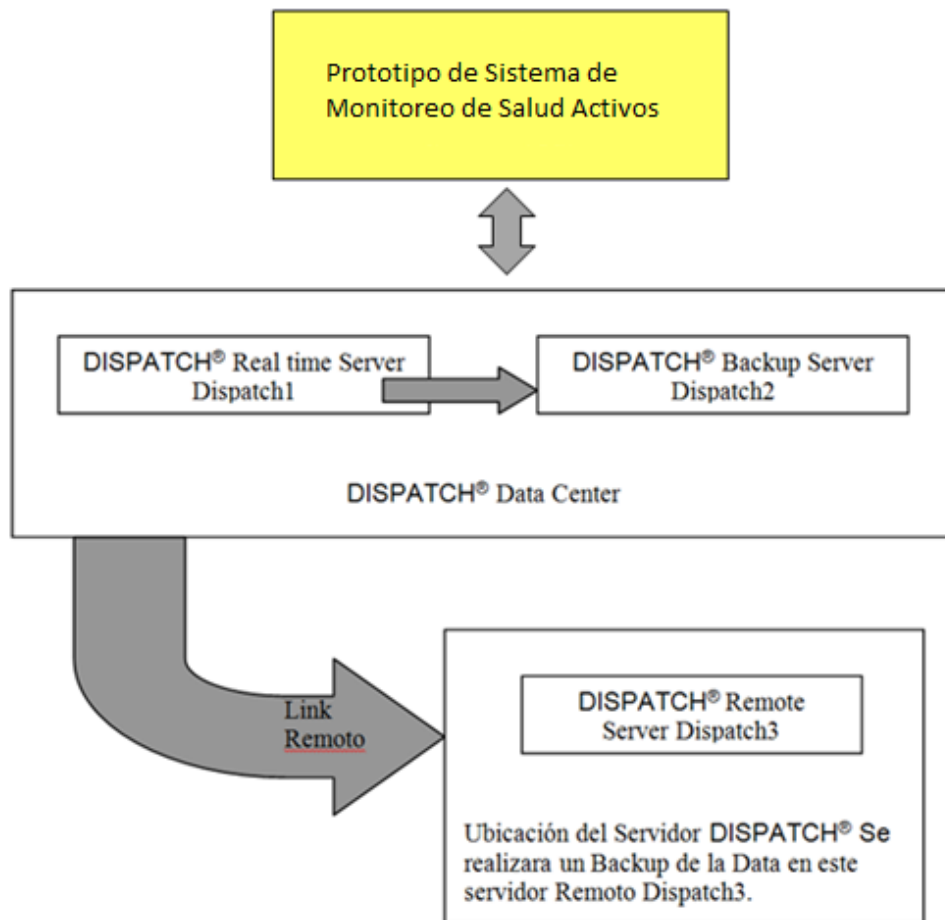
- Decisiones acertadas de aceptar o rechazar eventos que no han seguido el ciclo normal de carguío (excepciones)
- Actualización correcta de las rutas seguidas por los camiones y de los destinos (palas, botaderos, etc.)
- Mantenimiento de rutas abiertas/cerradas acorde a la operación diaria.
- Actualización de los materiales aceptados por los botaderos.
- Caso contrario no se puede garantizar la integridad de la Data.

5.4.5 Interacción del sistema de monitoreo automático con el sistema DISPATCH®

Se cuenta con 3 servidores DISPATCH® y solo uno de ellos ejecuta la aplicación por vez (véase figura 5.22). Los otros 2 servidores realizan una copia de seguridad cada 5 minutos de las bases de datos de tiempo real y de turno. Este procedimiento es parte del plan de contingencia ante una falla física en el servidor principal y, su correcto funcionamiento, garantiza que el tiempo máximo de pérdida de datos no excederá los 5 minutos antes mencionados. En las próximas páginas, se abordará el tema de integración con el sistema prototipo de monitoreo.

Figura 5.22

Interacción de DISPATCH® con el Prototipo de Combustible



SCIENTIA ET PRAXIS

5.4.6 Archivos generados por el sistema DISPATCH®

DISPATCH® capturará los datos recibidos de los HUBs que se encuentran instalados en los equipos. De esta manera, los archivos generados se ubicarán en un directorio para su procesamiento por el sistema de monitoreo propuesto en la innovación a realizar.

En la tabla 5.4, se muestra el listado de archivos de bases de datos usados por el sistema DISPATCH®. En la figura 5.23, se muestra una captura del directorio compartido desde donde estos archivos de bases de datos quedan disponibles para cualquier exportación de información.

Tabla 5.4

Bases del sistema DISPATCH® – Tiempo Real y de Turno

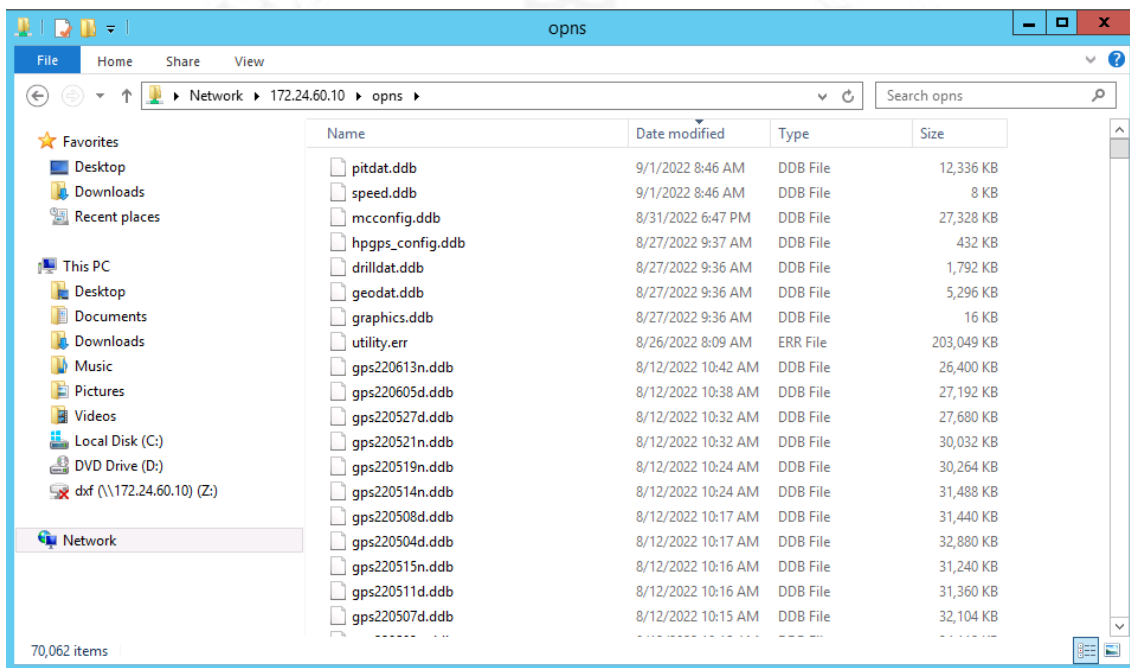
Tablas del sistema	Directorio	Nombre del Archivo	Tipo de Archivo	Tamaño Aproximado
DISPATCH® Real Time Reports	opns*	pitdat.ddb	Real time*	6 MB
DISPATCH® Shift Reports	opns	shyymmdds.ddb*	De Turno*	2 MB
DISPATCH® Transaction files	opns	shyymmdds.transact	De Turno	10 MB
DISPATCH® Transaction files	opns	shyymmdds. except	De Turno	1 MB
DISPATCH® GPS .ddb files	opns	gpsyymmdds .ddb	De Turno	6 MB
DISPATCH® geodat files	opns	geodatymmdds. ddb	De Turno	1 MB
DISPATCH® drpro files	opns	drproymmdds. ddb	De Turno	320 Kb
DISPATCH® dr files	opns	dryymmdds.ddb	De Turno	240 Kb
DISPATCH® mc files	opns	mcshyy mmdds .ddb	De Turno	10 MB
DISPATCH® vims files	opns	vimsshymmdds.ddb	De Turno	32 Kb
DISPATCH® drilldat files	opns	drilldat.ddb	Real time	32 Kb
DISPATCH® speed files	opns	speed.ddb	Real time	8.0 Kb
DISPATCH® mcconfig files	opns	mcconfig.ddb	Real time	1M
DISPATCH® Graphics	opns	graphics.ddb	Real time	16 Kb
DISPATCH® HPGPS	opns	hpgps_config.ddb	Real time	24 Kb
DISPATCH® Geodat	opns	geodat. ddb	Real time	96 Kb
DISPATCH® auxeqmt.host	psw*	auxeqmt.host	Real time	46 kb
DISPATCH® excav.host	psw	excav.host	Real time	46 kb

Donde:

1. *yymmdds - Year Month Day Shift e.g. 220701d = 1° de julio del 2022 Turno día
2. *De Turno – Son llamadas bases de turno porque son generadas en el turno actual.
3. *Real time - Es referido a un tipo de archivo realtime, es siempre actual y contiene los datos en tiempo real de las bases.
4. *opns - /dsp/cli/CLIENTE/opns (directorio del opns)
5. *psw - /dsp/cli/CLIENTE/psw (directorio del psw)

Figura 5.23

Directorio de salida de archivos generados por DISPATCH®



Cualquiera a quien se le haya otorgado un login/password para acceder a alguno de los 3 servidores DISPATCH® en producción y tiene acceso al sistema. Podrá manipular la información dependiendo de su configuración del Control Panel (acceso a herramientas) y de su teclado (módulos). El usuario podrá modificar las bases mencionadas, a las que tenga acceso vía el teclado.

5.4.7 Integración del prototipo propuesto con el sistema MineCare®

Se propone emplear los datos recolectados de las interfaces mediante MineCare®, correlacionarlos con los datos de DISPATCH® y los de nuestro prototipo, con la finalidad de generar reportes que ayuden a identificar aquellos equipos que tengan mayor consumo de combustible. La periodicidad propuesta para los reportes es de 30 minutos.

Como primer paso se revisaron las tendencias existentes en MineCare® identificando que faltan agregar ciertos parámetros para el análisis requerido tal como se detalla a continuación.

Flota 930E: En la figura 5.24 se muestra el listado de parámetro recolectados con la tendencia “Haul Road Study Kom” (Frecuencia recolección 05 segundos). Los parámetros importantes que no están disponibles son:

- Ratio consumo de combustible – litro/hora (Fuel rate, interfaz Cense)
- Factor de carga del motor diésel - % (% Engine Load, interfaz Cense)
- Nivel de Combustible - % (Fuel Level, interfaz Komtrax)

Flota 980E – En la figura 5.25 se muestra el listado de parámetro recolectados con la tendencia “980E Trial” (Frecuencia recolección 05 segundos). En este caso, los parámetros importantes que no están disponibles son:

- Factor de carga del motor diésel - % (% Engine Load, interfaz Cense)

Flota 797F – En la figura 5.26 se muestra el listado de parámetro recolectados con la tendencia “Data recolector – CAT 797F” (Frecuencia recolección 05 segundos). Para este último caso, los parámetros que faltan son:

- Nivel de Combustible - % (Fuel Level, interfaz VIMS 3G)

Figura 5.24

Flota 930E – Tendencia existente “Haul Road Study Kom”

Trend				
General Condition Predictions Behavior descriptor				
Id: 16788979		Category: Auxiliary Fleet / Haul Road St		
Name: Haul Road Study Kom				
Description: Haul Road Study Kom				
State:				
Duration: 0 Seconds		Aggregation: 5 Seconds		Sampling: 5 Seconds
Aggregated parameters:				
Id	Name	OEM Measurement Unit	Current User Preferred Unit	
33619973	Incline Angle	Degrees	Degrees	
33619974	Speed	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour	
33619978	Payload	Tonne	Tonne	
369431490	Engine Speed (IM)	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute	
369431491	Truck Speed (IM)	Kilometers Per Hour	Miles Per Hour	
369431493	Steering Pressure (IM)	Kilopascal	Pounds per square inch	
369431502	Brake Pressure (IM)	Kilopascal	Pounds per square inch	
369431508	Service Brake Power (IM)	Kilowatt Per Square Meter	Kilowatt Per Square Meter	
369431511	Engine Oil Pressure Gauge	Kilopascal	Pounds per square inch	
369431521	Brake Pressure	Kilopascal	Pounds per square inch	
369431532	Pitch/Inclinometer	Degrees	Degrees	
369431534	Brake Lock	None	None	
369431539	Blow By Pressure	Kilopascal	Pounds per square inch	
369431545	Park Brake Set	None	None	
1040252929	Truck Speed	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour	
1040252931	Engine Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute	
1040252933	Accelerator Pedal	Percent	Percent	
1040252934	Retard Speed Control	Percent	Percent	
1040253087	Engine Kill Switch	None	None	
1040253176	Speed Control Active	None	None	
1040253190	Spin-Slide Active	None	None	
1527054337	% Accelerator Pedal	Percent	Percent	
1527054348	Crankcase Blow-By Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054352	Engine Oil Filter Differential Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054353	Engine Oil Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054355	Engine Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute	

Figura 5.25

Flota 980E – Tendencia existente “980E Trial”

Trend				
General Condition Predictions Behavior descriptor				
Id: 16787877		Category: Haul Truck		
Name: 980E Trial				
Description: 980E Trial				
State:				
Duration: 0 Seconds		Aggregation: 5 Seconds		Sampling: 5 Seconds
Aggregated parameters:				
Id	Name	OEM Measurement Unit	Current User Preferred Unit	
1493237770	Truck Speed - Truck Speed	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour	
1493237778	Control - Accel %	Percent	Percent	
1493237779	Control - Retard %	Percent	Percent	
1493237784	Engine / Power-Engine Speed	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour	
1493237795	Motor Power-Motor 1 Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute	
1493237796	Motor Power-Motor 2 Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute	
1527054337	% Accelerator Pedal	Percent	Percent	
1527054348	Crankcase Blow-By Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054352	Engine Oil Filter Differential Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054353	Engine Oil Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054355	Engine Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute	
1527054375	Fuel Delivery Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054376	Fuel Rate	Liters Per Hour	Liters Per Hour	
1527054390	Lube Oil Filter Restriction	Kilopascal	Kilopascal	
1527054391	Post-Filter Oil Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1527054392	Pre-Filter Oil Pressure (High Resolution)	Kilopascal	Kilopascal	
1627455489	Total Vehicle Hours	Hour	Hour	
1627455490	Vehicle Speed	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour	
1627455493	Accel Pedal Position	Percent	Percent	
1627455494	Engine Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute	
1627455495	Fuel Level	Percent	Percent	
1627455496	Steering Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1627455502	Brake Pressure	Kilopascal	Kilopascal	
1627455505	Service Brake Power	Kilowatt Per Square Meter	Kilowatt Per Square Meter	
1627455509	Pitch Inclinometer	Degrees	Degrees	
1627455511	Sprung Weight	Ton	Ton	
1644232706	Current Sprung Weight	Tonne	Tonne	
1644232707	Inclinometer / Truck Incline	Degrees	Degrees	
1644232712	Speed	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour	
1644232725	Payload(Net)	Tonne	Tonne	
1644232758	Total Fuel Consumption	Liter	Liter	
1644232763	Dynamic Payload / Current Clean Tare	Tonne	Tonne	

Figura 5.26

Flota 797F – Tendencia existente “Data recolector – CAT 797F”

The screenshot shows a software interface for monitoring vehicle data. At the top, there are tabs for 'General', 'Condition', 'Predictions', and 'Behavior descriptor'. Below these, fields for 'Id' (16787989), 'Name' (Data recolector - CAT 797F), 'Description' (Data recolector - CAT 797F), and 'State' are visible. Configuration options include 'Duration' (0 Seconds), 'Aggregation' (5 Seconds), and 'Sampling' (5 Seconds). The main section is a table of 'Aggregated parameters' with columns for 'Id', 'Name', 'OEM Measurement Unit', and 'Current User Preferred Unit'. A red box highlights a subset of these parameters.

Id	Name	OEM Measurement Unit	Current User Preferred Unit
1091050335	Oil Filter Differential Pressure	Kilopascal	Kilopascal
1091050337	Body Position Angle	Degrees	Degrees
1091050338	Engine Oil Pressure (Absolute)	Kilopascal	Kilopascal
1091050340	Truck Payload	Tonne	Tonne
1091050348	Service Brake	None	None
1091050363	Percent Engine Load At Current Engine Speed	Percent	Percent
1091050365	Fuel Consumption Rate	Liters Per Hour	Liters Per Hour
1091050366	Fuel Pressure	Kilopascal	Kilopascal
1091050367	Engine Oil Pressure	Kilopascal	Kilopascal
1091050368	Crankcase Pressure	Kilopascal	Kilopascal
1091050376	Engine Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute
1091050387	Desired Engine Speed	Revolutions Per Minute	Revolutions Per Minute
1091050391	Actual Gear	None	None
1091050395	Percent Fuel Position	Percent	Percent
1091050406	Ground Speed	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour
1091050411	Retarder Lever Position	Percent	Percent
1091050420	Throttle Position	Percent	Percent
1091050427	Steering Angle	Degrees	Degrees
1091050429	Atmospheric Pressure	Kilopascal	Kilopascal
1091050431	Brake Pump Pressure	Kilopascal	Kilopascal
1091050463	Machine Speed Limit	Kilometers Per Hour	Kilometers Per Hour
1091050486	Payload	Tonne	Tonne

5.4.8 Solución en la nube

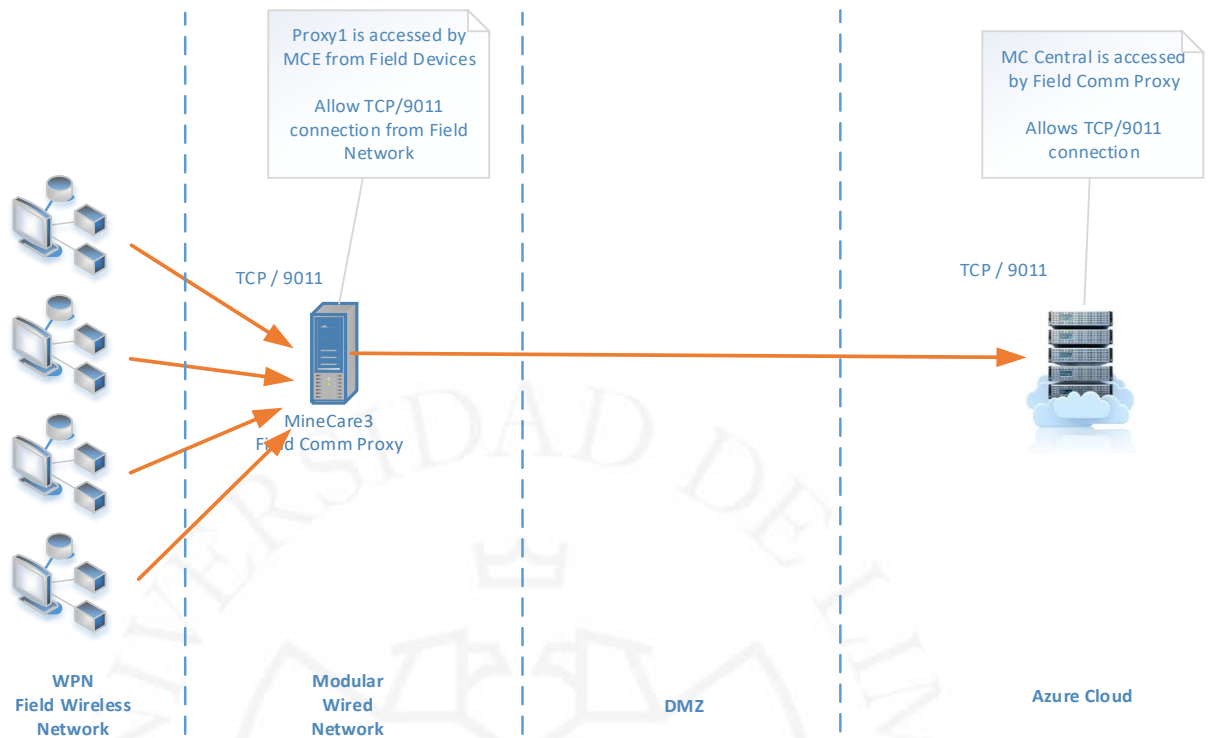
En este escenario, la aplicación integrada en los dispositivos se comunica con la nube central a través de un proxy de comunicación de campo ubicado en la zona de red confiable (DMZ) de la red del cliente. En la figura 5.27 se puede apreciar un diagrama de alto nivel para la solución en la nube.

Ventaja: los dispositivos no están expuestos a Internet al tener un Proxy en el medio. Al estar el proxy en una red cableada, la actualización y el soporte de las aplicaciones son más fáciles.

Desventaja: como el proxy está ubicado en una red confiable detrás de la zona DMZ, es posible que las políticas de TI de algunos clientes no les permitan acceder a Internet. El reenvío de puertos podría ser una mejor opción aquí.

Figura 5.27

Diagrama de alto nivel para solución en la nube



5.5 Reportes y resultados

Reportes automáticos a través de plataforma de reportabilidad (PowerBI, Tableau, etc) para análisis: por flota o por sistemas/subsistemas. Reportes en tiempo real para gestión inmediata. Capacidad de personalización del sistema a nivel de configuración de plantillas de reportes y pantallas de visualización.

Se debe garantizar que toda la data histórica e información previa de los sistemas sea accesible y pueda integrarse con el prototipo a implementar.

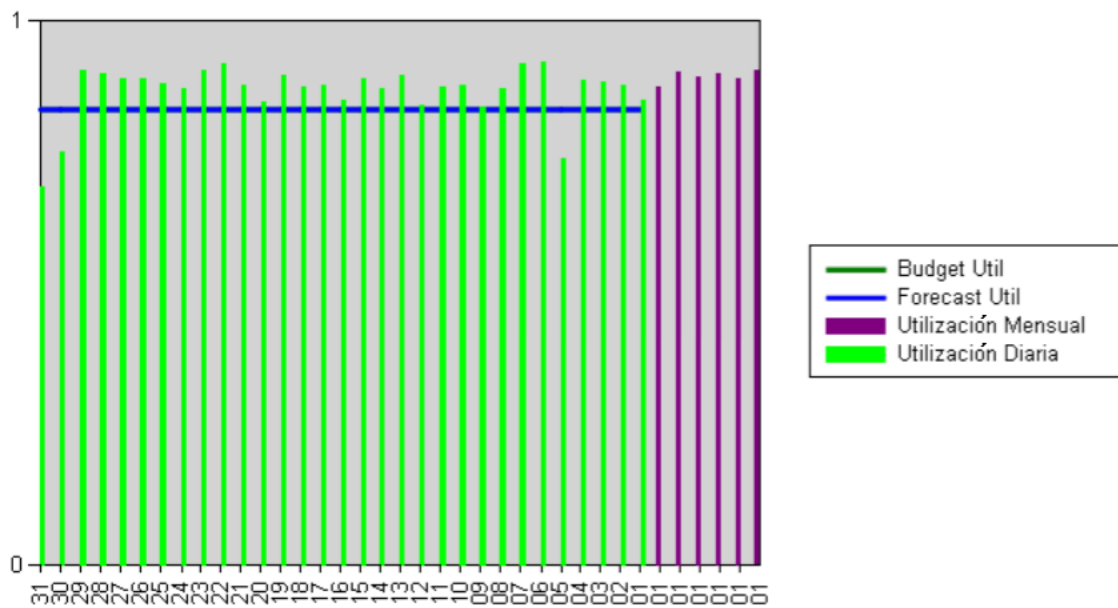
5.5.1 Reporte de utilización de equipos tipo pala

Usa estados (Operativo, Demora y StandBy) en vez de categoría de tiempo para realizar el cálculo de utilización de palas en la operación (véase figura 5.28). No necesariamente coincide con la utilización que se reporta en la mina

- Uso de la flota de Palas
 - Mientras mayor porcentaje de utilización de palas y cargadores, mejor.

Figura 5.28

Reporte de utilización de equipos



Las maquinarias de carga tipo cargadoras que operan en la mina llenan los camiones normalmente en más de 6 pasadas. El siguiente reporte debe ser llevado a cabo para determinar si los cargadores pueden ser utilizados o equipados con un balde más grande, para garantizar que puedan cargarlos en las 4–6 pasadas recomendadas. De esta manera el reporte ayudará a disminuir el tiempo de carga y el tiempo total del ciclo de los camiones por cierto margen. Teóricamente permitir que los camiones hagan más cargas en un día, mejorará la producción de la mina. Alternativamente, los cargadores más nuevos y grandes deben ser considerados para compra y comenzar a cambiar paulatinamente la flota de cargadoras, según su tiempo de antigüedad para mejorar la utilización de los equipos de carguío. (Tamenti, 2007) ⁰

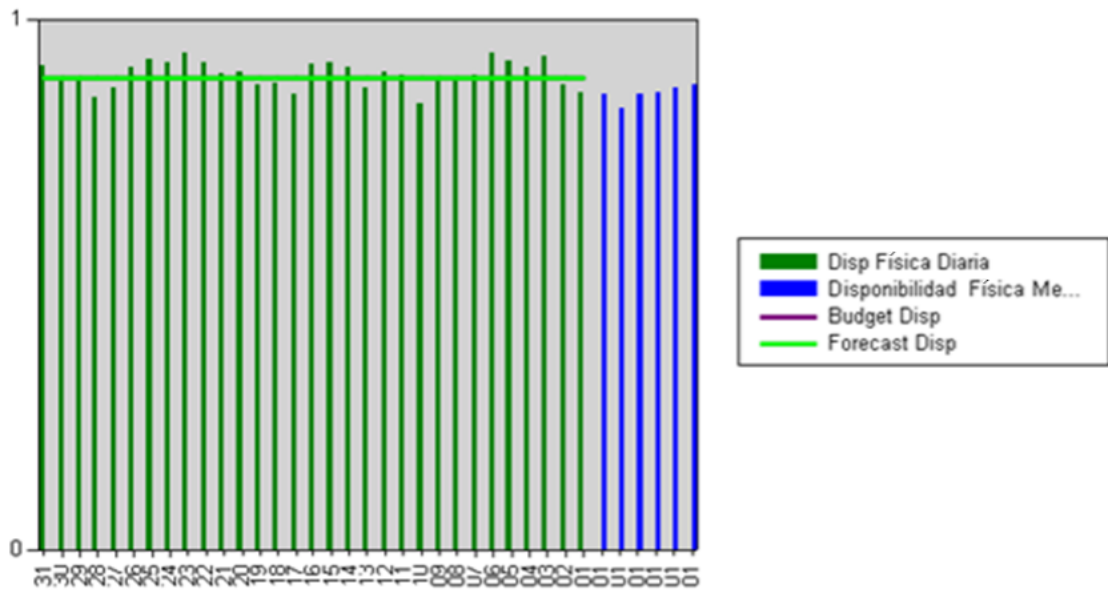
5.5.2 Reporte de utilización de equipos tipo camiones

Usa estados (Operativo, Demora y StandBy) en vez de categoría de tiempo para calcular la utilización del equipo (véase figura 5.29). No necesariamente coincide con la utilización que se reporta en la mina

- Uso de la flota de camiones.
- Mientras mayor porcentaje de utilización, mejor.

Figura 5.29

Reporte de utilización de camiones



5.5.3 Reporte de estado de equipos de acarreo en tiempo real

El reporte de estado de equipos de acarreo en tiempo real nos muestra un resumen visual del estado de los equipos registrados en el sistema (véase figura 5.30).

Rojo: StandBy

Amarillo: Demora

Azul: Operativo

Figura 5.30

Reporte de estado de equipos en acarreo

Estado de Equipos De Acarreo en Tiempo Real														
19	TRAC29	TRAC27	TRAC28											
		1	2	2										
20	TRAC39													
		2												
30	TRAC30	TRAC37	TRAC45	TRAC46	TRAC52	TRAC55	TRAC56							
		2	2	2	2	2	2							
30								2						
33														
		2	2	4	4									
44	TRAC62	TRAC47	TRAC48	TRAC49	TRAC50	TRAC61	TRAC38	TRAC53	TRAC64	TRAC54	TRAC57	TRAC68	TRAC69	TRAC60
		1					2		2	2	2	2	2	2
44			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
48	TRAC41	TRAC40												
		2	2											

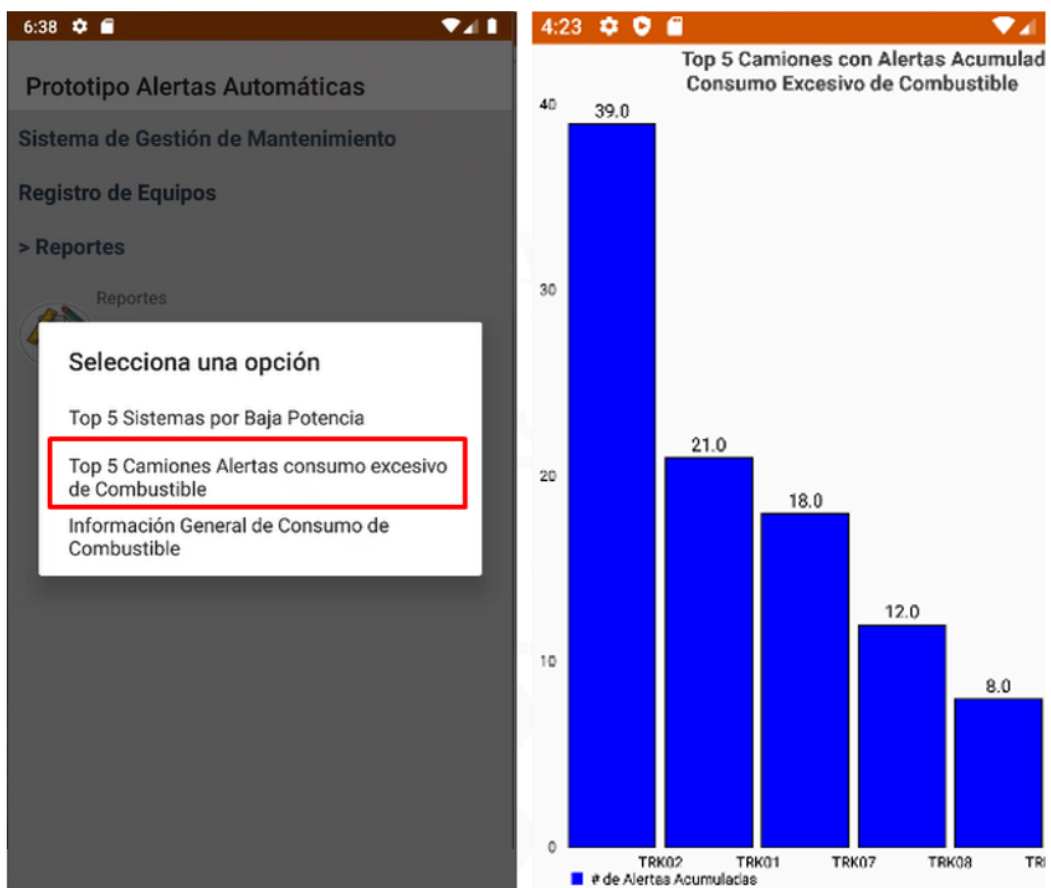
5.5.4 Top 5 camiones con alertas consumo excesivo de combustible

En base a los resultados obtenidos, se ha elaborado un ranking de los cinco camiones con mayores alertas de consumo excesivo de combustible, lo que permitirá al despachador de mantenimiento, tomar medidas inmediatas para informar a su supervisión. Además, el informe también presenta recomendaciones específicas para cada camión, con el objetivo de reducir su consumo de combustible y, por ende, los costos asociados con el fin de mejorar la eficiencia de la utilización de equipos.

En resumen, este reporte proporciona información valiosa y concreta que puede ser utilizada por la empresa para optimizar la gestión de su flota de equipos pesados, reducir costos y mejorar su rentabilidad a largo plazo (véase figura 5.31).

Figura 5.31

Top 5 Camiones con alertas de consumo excesivo de combustible



5.5.5 Top 5 Sistemas por baja potencia

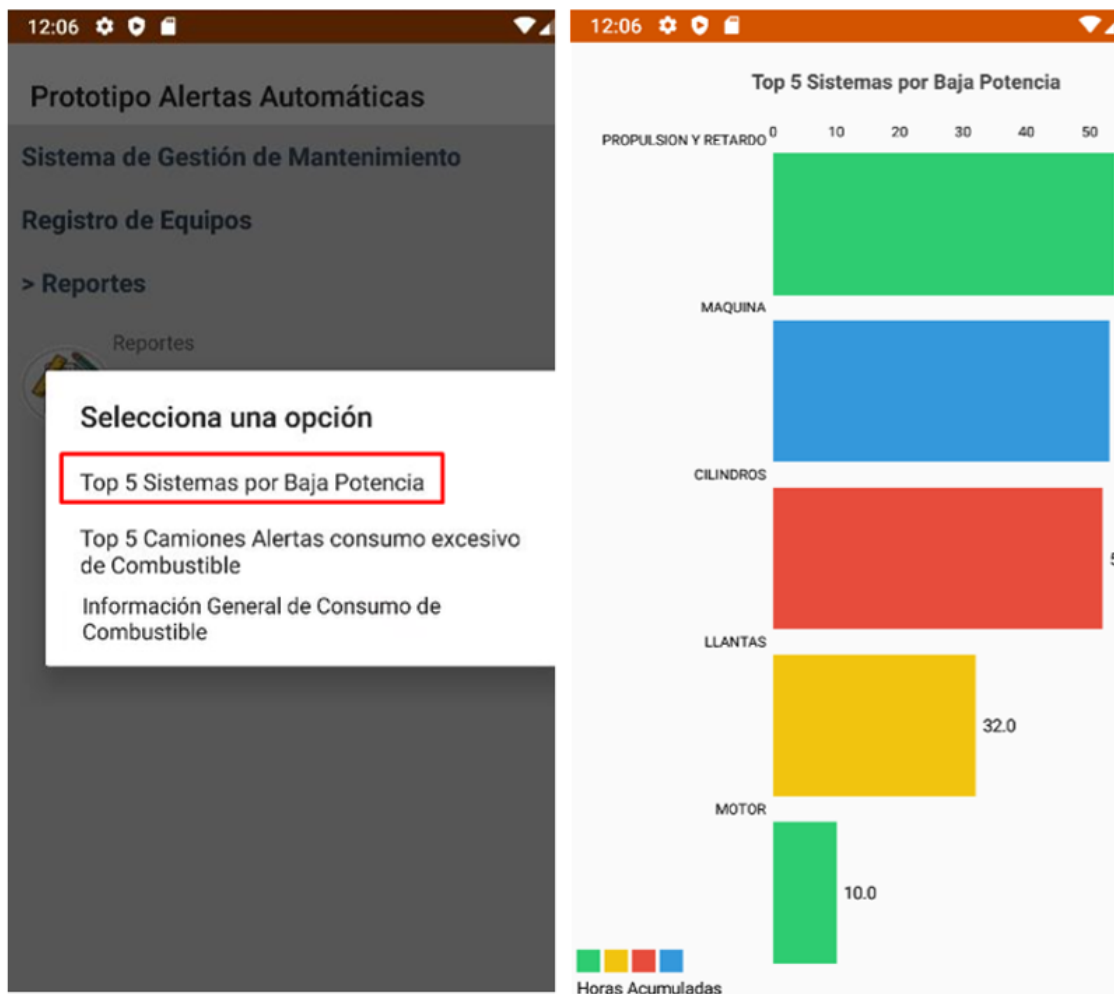
El reporte de Top 5 Sistemas que generan baja potencia, presenta un ranking de los camiones con fallas o que requieren mantenimiento. Debido a problemas en los siguientes componentes: maquina, llantas, motor, servicio pm, propulsión y retardo, caja turbo, cilindros, sistema eléctrico, mangueras hidráulicas e implementos. Los datos fueron obtenidos a través de un monitoreo continuo de nuestra aplicación y análisis de los vehículos en la flota de la empresa, durante el período de tiempo determinado en él alcance. Los componentes, fueron clasificados según su nivel de ocurrencia y se identificaron los sistemas con el rendimiento más bajo.

El análisis detallado reveló que los problemas de baja potencia se debieron principalmente a fallas en mangueras hidráulicas y en el componente de caja de turbo. Estos problemas se manifestaron en una disminución del rendimiento general del motor y una reducción de la potencia de los vehículos encuestados.

Con el uso de este informe, se espera que la empresa pueda identificar los sistemas que necesitan atención inmediata en términos de mantenimiento y reparación, lo que permitirá mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la flota en general. Además, se pueden implementar medidas preventivas, para evitar la aparición de estos problemas en el futuro y garantizar un desempeño óptimo de los vehículos de la empresa impactando directamente en el KPI de utilización de equipos. En la figura 5.32 se muestra una captura del reporte Top 5 Sistemas por baja potencia.

Figura 5.32

Ranking de top 5 Sistemas por baja potencia



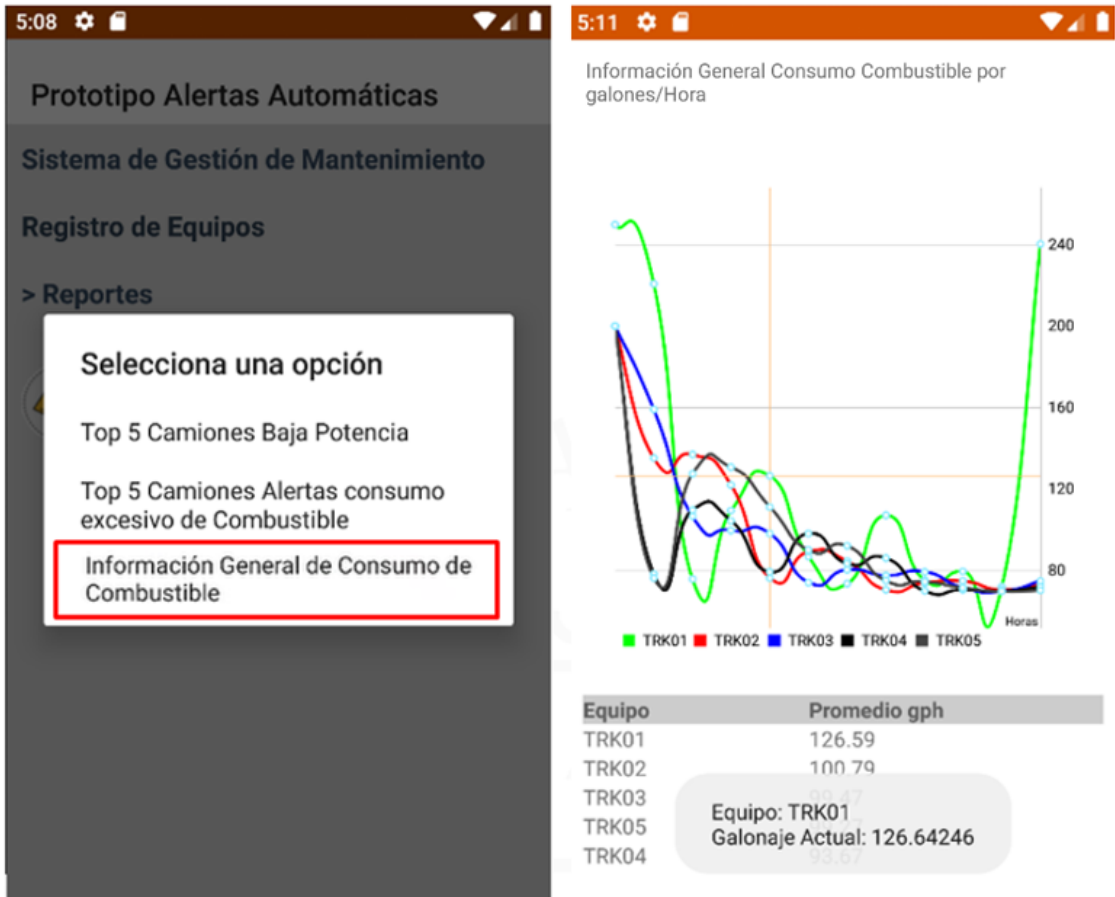
5.5.6 Información general de consumo de combustible

Este reporte proporciona una vista detallada del consumo de combustible en términos de galones por hora para cada uno de los equipos y maquinarias en uso. Además, permite la identificación de patrones de consumo de combustible y el monitoreo de cualquier variación significativa en el mismo, lo que permite tomar medidas proactivas para mejorar la eficiencia del consumo de combustible y reducir los costos operativos. La información presentada en este reporte puede ser utilizada para la toma de decisiones estratégicas en relación con la gestión de la flota de maquinaria y equipos, incluyendo la planificación de mantenimiento preventivo y la identificación de oportunidades de mejora en la eficiencia de la operación. En resumen, el reporte de Información General Consumo Combustible por Galones/Hora (véase figura 5.33) es una herramienta vital

para cualquier empresa que busque mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos de su flota de maquinaria y equipos pesados.

Figura 5.33

Información General Consumo Combustible por Galones/Hora



CONCLUSIONES

El presente plan de proyecto se basa en la experiencia previa en el manejo de productos relacionados con la tecnología minera, y se ha abordado el planteamiento, desarrollo y posible funcionamiento de una aplicación prototipo para maquinaria pesada en empresas mineras en tiempo real. Como resultado, se han obtenido las siguientes conclusiones:

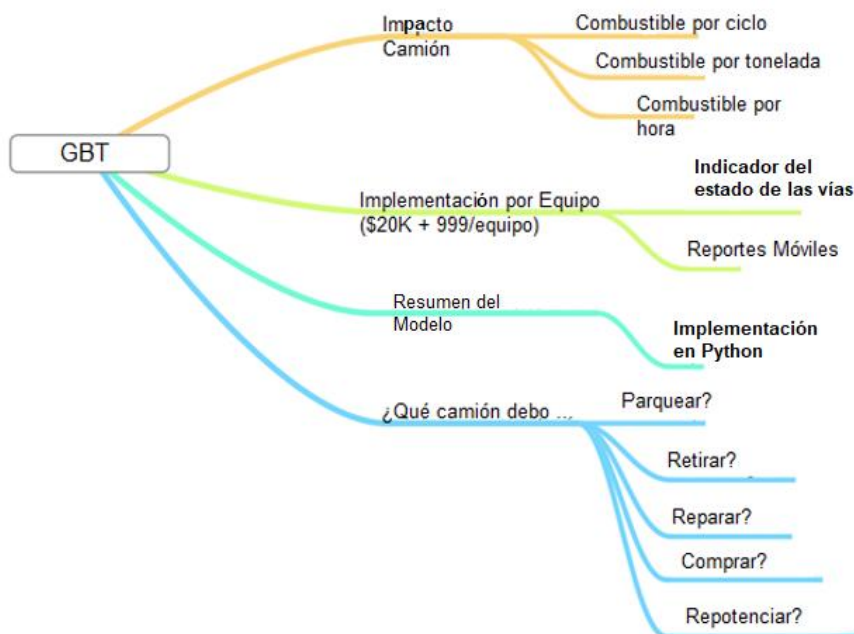
- El modelo utilizado para el cálculo del disparador de alertas es preciso, pero se debe tener cuidado con el sobreajuste y la variabilidad de los datos. Es recomendable evaluar y probar el modelo en diferentes escenarios para asegurarse de que sigue siendo preciso y útil.
- El uso del prototipo para el manejo de salud de activos no solo ayudará a predecir fallas futuras a través del monitoreo en tiempo real de los equipos móviles, sino que también permitirá ahorrar combustible y generar mayor disponibilidad física de los equipos en todo momento. Esto, junto con el análisis financiero del proyecto que muestra un ahorro significativo de 81,523 galones de combustible, resultará en una mayor productividad y desempeño en general.
- La solución propuesta puede llegar a ser muy eficaz y podría ser utilizada como un estándar en la industria minera para el mantenimiento. Se espera que la solución logre reducir el consumo de combustible en al menos un 5%, lo que también puede ayudar en la toma de decisiones sobre si se debe detener o no un equipo debido a uno o más eventos de baja potencia detectados por la aplicación.
- Se recomienda actualizar del sistema DISPATCH®; los valores de velocidades por pendiente (form speed_menu.frm) con los valores estimados. Adicionalmente, es necesario mantener siempre actualizada la gráfica mina (MineGraphics) en lo que corresponde a rutas y coordenadas de las ubicaciones para la integración de nuestro prototipo con dicho sistema.
- El flujo aproximado del valor FuelRate; cuando es alta la cantidad de RPM, el valor es mayor a 600 l/h el equipo estará cargado y en subida, lo que genera mayor consumo a diferencia cuando el equipo está en bajada vacío dando un promedio aproximado de 100 l/h.

RECOMENDACIONES

La elección de la metodología por camión para poder determinar si está consumiendo mayor combustible que el resto de la flota, pueda ser modificado a otro modelado de datos. El modelado por el método Gradient Boosted Tree (GBT) se utilizaría para normalizar la actividad y aislar el impacto del camión específico a estudiar. De esta manera ayudaría a simplificar los problemas de predicción en los dominios de clasificación y regresión vistos en este proyecto. El enfoque mejora el proceso de aprendizaje al simplificar el objetivo y reducir el número de iteraciones para llegar a una solución suficientemente óptima. Los modelos potenciados por gradiente han demostrado su valía una y otra vez en varias competencias calificando, tanto la precisión como la eficiencia, lo que los convierte en un componente fundamental para la siguiente versión a implementar (véase Figura 7.1).

Figura 7.1

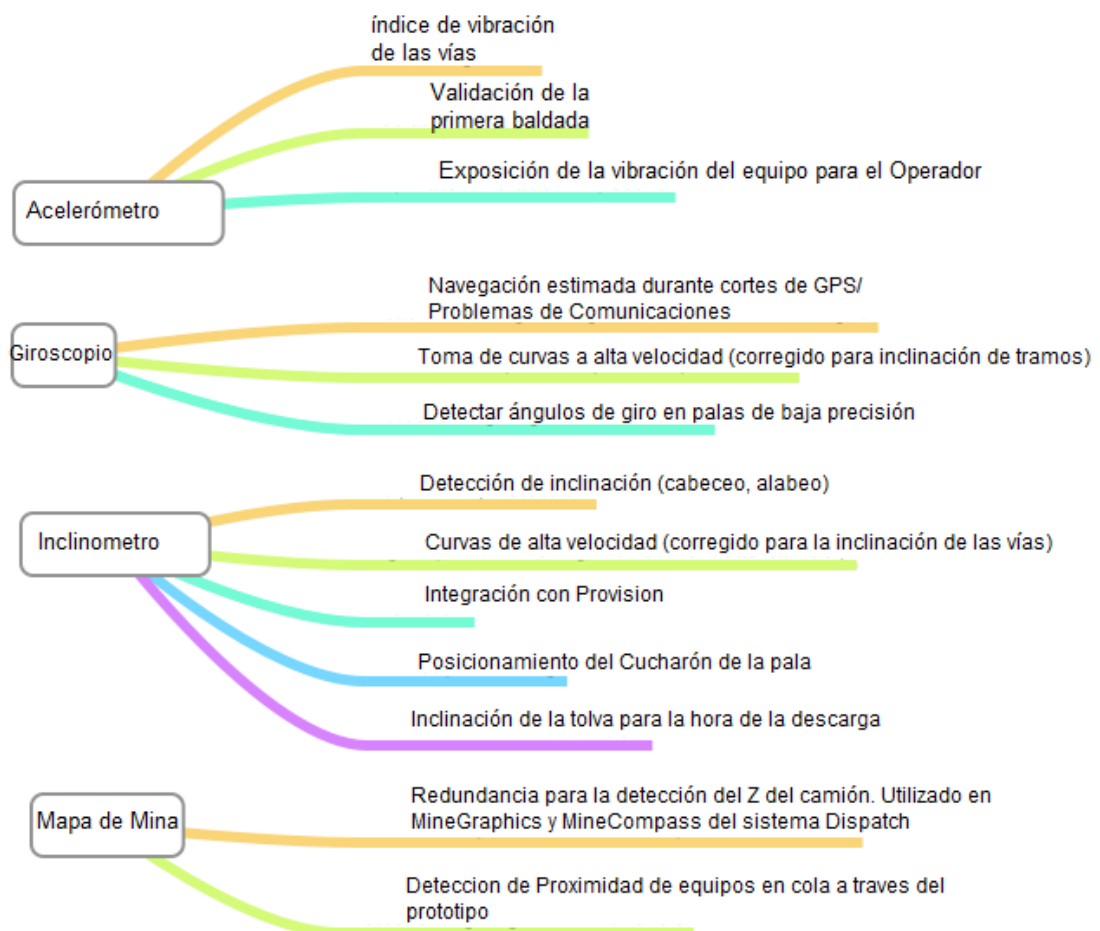
Modelado usando Gradient Boosted Tree



Debido a la cantidad de datos NULL entregados por los parámetros usados actualmente, la información de los sistemas, en futuras versiones, podría incluir el uso de nuevos componentes de hardware que brindarán datos más precisos propios para el prototipo propuesto (véase Figura 7.2).

Figura 7.2

Sensores para implementar en futuras versiones



GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acción Correctiva:** Se define como acción para eliminar la causa de una no conformidad detectada o alguna situación presentada. (International Organization for Standardization, 2015)
- **Acción Preventiva:** Acción para eliminar la causa de una no conformidad u otra situación potencial ocurrida. (International Organization for Standardization, 2015)
- **Balizas:** Objeto el cual es creado como señalizador, para indicar un lugar donde ocurrirá la extracción. (Modular Mining Systems, 2005)
- **Balizas Virtuales:** Es un objeto lógico que se utiliza para marcar un punto de referencia en el sistema DISPATCH®. (Modular Mining Systems, 2005)
- **Feedback:** También denominada retroalimentación. Es el proceso mediante el cual se realiza un intercambio de datos, informaciones, etc. (Ahuja & Khamb, 2008)
- **Indicadores KPI:** Estos indicadores se utilizan para medir el desempeño en términos de productividad, eficiencia, seguridad, calidad, costos, entre otros, y permiten a los operadores mineros y a los gerentes tomar decisiones informadas para mejorar el desempeño y optimizar el proceso minero. (Soto, 2022)
- **Mantenimiento Correctivo:** Corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presenten. (Liu, 2012; Wang et al., 2020)
- **Mantenimiento Preventivo:** Es una actividad programada de inspecciones, tanto de funcionamiento como seguridad, que se lleva a cabo en forma periódica en base a un plan establecido. (Esteban, A., Zafra, A., & Ventura, S., 2020)
- **Mantenimiento Proactivo:** Es un enfoque más avanzado del mantenimiento predictivo que se centra en analizar las causas fundamentales de las fallas de los equipos, en lugar de simplemente predecir cuándo pueden ocurrir. A diferencia del mantenimiento predictivo, que puede identificar posibles fallas, el mantenimiento proactivo también se enfoca en resolver los aspectos técnicos que provocan la repetición de las fallas. De esta manera, el mantenimiento proactivo busca prevenir futuras fallas y aumentar la fiabilidad de las máquinas. Es un complemento

importante a la evolución del mantenimiento predictivo y puede mejorar significativamente la eficiencia y la efectividad del mantenimiento en una operación minera. (Wang Bu & He, 2020)

- **Parámetro OEM (Original Equipment Manufacturer):** Parámetros correspondientes de una interfaz en particular que corresponden a una pieza en particular del equipo móvil. (Hwang & Kim, 2018)
- **Rutas:** “Las rutas resultarán de líneas o curvas entre los nodos. Sin embargo, porque la distancia y el arreglo entre los nodos no es constante, no es posible determinar una ecuación paramétrica para construir todas las curvas”. (Souza et al., 2019)
- **Sistema DISPATCH®:** El sistema de despacho es un sistema de control de procesos, en toda regla, para la gestión de operaciones de la mina donde se envía y asigna la flota de maquinarias pesadas. Además del control de la producción (camión / pala) y el control del equipo auxiliar (como bulldozers, camiones de agua), los diversos módulos del sistema ofrecen al personal de mantenimiento de mina, una gran variedad de funcionalidades que producen un aumento directo disponibilidad de los equipos. Los más importantes son: optimización del ciclo de acarreo, gestión de cualificaciones de los operadores, gestión del servicio de combustible, gestión de equipos auxiliares, entre otros. (Ali Moradi Afrapoli & Hooman Askari-Nasab.,2019)
- **Suite IntelliMine®:** Suite de la empresa Modular Mining que incluye la instalación de los productos DISPATCH®, ProVision® y MineCare®. (Modular Mining Systems, 2022)
- **Tendencia:** Una tendencia se configura para recoger información de parámetros específicos en el equipo. La tendencia empieza a recoger la información de parámetros cuando las condiciones definidas por el usuario se cumplieron o excedieron.

“El análisis de tendencias es una técnica utilizada para examinar y predecir los movimientos de un ítem en función de los datos actuales e históricos. Puede usar el análisis de tendencias para mejorar su negocio utilizando los datos de tendencias como base para su toma de decisiones”. (Business Queensland, 2023)

- **Tiempo de Carga:** El “load time” o “tiempo de carga” es el que está entre la hora inicio y la hora fin del turno actual de la pala en la etapa de la carga. (Salgado Medina, & Núñez Ramírez, 2018)



REFERENCIAS

- Ahuja, I.P.S. & Khamba, J.S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709-756. 0, p. 736
- Business Queensland. (s.f.). *Trend analysis*. Recuperado el 4 de abril de 2023, de <https://www.business.qld.gov.au/running-business/growing-business/trend-analysis#:~:text=Trend%20analysis%20is%20a%20technique,to%20inform%20your%20decision%2Dmaking>
- Awuah-Offei, K., & Frimpong, S. (2007). Cable shovel digging optimization for energy efficiency. *Mechanism and Machine Theory*, 42(8), 995–1006. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2006.07.008>
- Esteban, A., Zafra, A., & Ventura, S. (2022). Data mining in predictive maintenance systems: A taxonomy and systematic review. *Advanced Review*, 1-45. <https://doi.org/10.1002/widm.1471>
- Felsch Junior Feish Junior, W. S., Arroyo Ortiz, C. E., Oliveira, V. S., Da-Cunha, P. R. V., & De Araújo Costa, É. F. (2018). Beneficios de la implementación de un sistema de telemetría para la gestión de las operaciones mineras. *Interfases*, 11, 87-102. <https://doi.org/10.26439/interfases2018.n011.2955>
- Hwang, Y., & Kim, K. (2018). Maintenance strategy based on reliability-centered maintenance and condition-based maintenance for construction equipment. *Sustainability*, 10(3), 623.
- International Organization for Standardization. (2015). *Quality management systems - Requirements (ISO 9001:2015)*. Recuperado el 13 de marzo de 2023, de <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- International Organization for Standardization. ISO 9000:2015 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. Recuperado el 27 de febrero de 2023, de <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9000:ed-3:v1:es>
- Liu, Y., Guo, S., & Wang, Y. (2019). Achieving Predictive and Proactive Maintenance for High-Speed Railway Power Equipment with LSTM-RNN. *IEEE Access*, 7, 156424-156433. 10.1109/TII.2020.2966033, p. 1.
- Marais, W. J., Thompson, R. J., & Visser, A. T. (2008). *Using Mine Truck On-Board Data As A Decision Making Tool For Mine Road Maintenance Management*. Recuperado el 20 de febrero de 2023, de <https://trid.trb.org/view/1214900>
- Modular Mining Systems. (2022). IntelliMine® Suite. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de <https://www.modularmining.com/es/productos/intellimine-suite/>

- Modular Mining Systems. (2005). *Sistema de despacho Modular Mining* [Manual de usuario].
- Modular Mining Systems. (2005). *Sistema de despacho Modular Mining* [Manual de usuario]. Tucson, Arizona, Estados Unidos: Autor Modular Mining Systems [Sección "5.5.1.7"]
- Modular Mining. (2015). *Truck Fuel Consumption*. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de <https://www.modularmining.com/case-studies/reduce-haul-truck-fuel-consumption/>
- Modular Mining. (2022). *DISPATCH*. Recuperado el 18 de marzo de 2023, de <https://www.modularmining.com/our-solutions/load-and-haul/#DISPATCH>
- Modular Mining. (2022). *MineCare*. <https://www.modularmining.com/our-solutions/maintenance-reliability/>
- Moradi Afrapoli, A., & Askari-Nasab, H. (2019). Mining fleet management systems: a review of models and algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 33(1), 42–60. <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1336607>
- Moradi Afrapoli, A., & Askari-Nasab, H. (2019). Mining fleet management systems: a review of models and algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 33(1), 42–60. <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1336607>
- Wang, Q., Bu, S., & He, Z. (2020). Achieving Predictive and Proactive Maintenance for High-Speed Railway Power Equipment With LSTM-RNN. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20(10). <http://doi.org/10.1109/TII.2020.2966033>
- Salgado Medina, L. A., & Núñez Ramírez, D. A. (2018). *Mejora de la gestión de la productividad de la flota de carguío y acarreo U.M Cuajone, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma para disminuir las demoras operativas en el relevo del personal* [Tesis para obtener el Ttítulo profesional de Ingeniero de Gestión Minera, Universidad de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. Recuperado el 28 de abril de 2023, de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659078>
- Soto Yupanqui, J. E. (2022). *Optimización del sistema de extracción mediante la gestión de los indicadores de desempeño KPI's de los equipos en la unidad minera Huachocolpa Uno*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional Digital. Recuperado el 13 de abril de 2023, de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8399/TESIS%20ORGINNO%20EDGAR%20SOTO%20YUPANQUI.pdf?sequence=1>
- Souza, F. R., Câmara, T. R., Torres, V. F. N., Nader, B., & Galery, R. (2019). Mine fleet cost evaluation - Dijkstra's optimized path. *REM, Int. Eng. J.* 72(2), 243-251. doi: 10.1590/0370-44672018720124

Tamenti, T. (2007). *Feasibility study of replacing bottom dump trucks with rear dump trucks at Kleinkopje colliery*. https://doi.org//10.10520/AJA0038223X_3274



ANEXOS

Tesis corregida

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	11%	1%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad de Lima Trabajo del estudiante	4%
2	sine.ni.com Fuente de Internet	2%
3	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	emb.cl Fuente de Internet	<1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.mysciencework.com Fuente de Internet	<1%
8	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1%