



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA REMOTO PARA
OPTIMIZAR EL DIAGNÓSTICO EN EL MANTENIMIENTO
CORRECTIVO DE EQUIPOS DE CARGUÍO EN LA
SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
ERICK WILBERT RODRIGUEZ MAMANI**

**ASESOR
MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS**

LIMA – PERÚ, ABRIL 2022



DEDICATORIA

El siguiente trabajo de sustentación lo dedico a mi familia, gracias a su apoyo y dedicación constante que me brindaron es que pude concluir con mi carrera profesional, por lo cual les estoy muy agradecidos por todo su apoyo brindado hacia mi persona.





AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme tener la fortaleza y salud para poder terminar esta carrera profesional.

Asimismo, agradecer a mis supervisores y compañeros de trabajo quienes me apoyaron en este período de estudio, por facilitarme el tiempo necesario y poder finalizar mi carrera profesional.





INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional muestra un sistema remoto el cual consiste en llevar el sistema SCADA de una pala eléctrica de gran minería mediante una red Wireless para mejorar el diagnóstico y eficiencia en los mantenimientos correctivos de los equipos de carguío en gran minería.

Dentro del capítulo I se presentará las generalidades de la empresa conociendo sus antecedentes, su perfil y actividades a la cual se dedica, viendo su visión y objetivos de la organización, se conocerá el organigrama de la empresa y el organigrama donde se desarrollará el presente trabajo de suficiencia; también se verá el análisis externo e interno de la empresa.

Dentro del capítulo II se presentará la realidad problemática realizando una descripción de la realidad problemática, un análisis y formulación del problema, también se conocerá los objetivos del proyecto separándolos por objetivos generales y objetivos específicos.

Dentro del capítulo III se presentará el desarrollo del proyecto realizando una descripción del proceso, se conocerá los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, las bases normativas, también se presentará la factibilidad de este proyecto, su flujograma de los procesos para comprender como se desenvuelve personal técnico ante una falla, también se verá los costos del proyecto para conocer si es factible o no este trabajo; el cronograma mediante el cual conoceremos los tiempos de instalación del sistema y finalmente se mostrara las conclusiones y recomendaciones.

Como parte final se mostrará las referencias bibliográficas, glosarios y términos del presente trabajo de suficiencia profesional.





RESUMEN

“Implementación de un sistema remoto para el diagnóstico y eficiencia en el mantenimiento correctivo de equipos de carguío en la sociedad minera Cerro Verde”

En el presente trabajo se pretende implementar un sistema remoto para poder monitorear y disminuir los tiempos de parada intempestiva generada en palas eléctricas mejorando así la disponibilidad y tiempo de reacción ante el diagnóstico de los eventos del equipo.

La implementación de un sistema remoto permite monitorear en tiempo real y permite también la recopilación de los eventos producidos en equipos de carguío en gran minería. Los equipos de carguío de gran minería son innovados con sistemas de control y automatización, permitiendo así la viabilidad de un sistema SCADA los cuales permiten el monitoreo constante de todas las funciones del equipo los cuales son controlados mediante un PLC, tener a la mano y en tiempo real el monitoreo de control de un equipo, permitiría mejorar los diagnósticos de funcionamiento y mejores respuestas en mantenimiento, mejorando así su disponibilidad y mantenibilidad del equipo, este estudio está dirigido para palas eléctricas con posibilidades de aplicación a cualquier modelo de pala eléctrica con un sistema de monitoreo SCADA.

Para poder iniciar este estudio se usa primeramente una metodología de levantamiento de eventos por un periodo de tiempo, analizando la confiabilidad y desempeño del equipo recopilando datos de los distintos eventos producidos. Realizando una evaluación de posibles soluciones, se pretende implementar este sistema con la ayuda de un software especializado que ayude a la aplicación de un sistema remoto, para esto se pretende aprovechar al máximo los recursos ya usados en las operaciones de la empresa, solicitando una integración de tecnología ya implementada en la empresa con el fin de mejorar los tiempos de diagnóstico de equipos de carguío de gran envergadura.

Poder monitorear un equipo en tiempo real facilita acceso al diagnóstico de fallas, reduce la exposición de personal de campo a accidentes laborales, permite acceder al sistema SCADA sin la necesidad de detener el equipo y reduciría los tiempos de diagnóstico de fallas.





ABSTRACT

"Implementation of a remote system for the diagnosis and efficiency in the corrective maintenance of loading equipment at Cerro Verde mining company".

The purpose of this work is to implement a remote system to monitor and reduce the untimely stoppage times generated in electric shovels, thus improving the availability and reaction time to the diagnosis of equipment events.

The implementation of a remote system allows monitoring in real time and allows the collection of the events produced in large mining loading equipment. The large mining loading equipment is innovated with control and automation systems, thus allowing the feasibility of a SCADA system which allow constant monitoring of all equipment functions which are controlled by a PLC, having on hand and in real time the control monitoring of equipment, would allow improved diagnostics and better operational responses in maintenance, thus improving its availability and maintainability of equipment, this study is aimed for electric shovels with the possibility of application to any model of electric shovel with a SCADA monitoring system.

To start this study, we first use a methodology of events survey for a period of time, analyzing the reliability and performance of the equipment by collecting data from the different events produced. Making an evaluation of possible solutions, it is intended to implement this system with the help of specialized software that helps the application of a remote system, for this is intended to maximize the resources already used in the operations of the company, requesting an integration of technology already implemented in the company to improve the diagnosis times of large loading equipment.

Being able to monitor equipment in real time facilitates access to fault diagnosis, reduces the exposure of field personnel to work accidents, allows access to the SCADA system without the need to stop the equipment and would reduce fault diagnosis times.





TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
INTRODUCCIÓN.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
TABLA DE CONTENIDOS.....	VI
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	1
1.2. PERFIL DE LA EMPRESA.....	2
1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA.....	3
1.3.1. Visión.....	3
1.3.2. Objetivos de la organización.....	3
1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	3
1.4.1. Misión.....	9
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA.....	10
1.5.1. Análisis externo de la empresa.....	10
1.5.2. Análisis interno de la empresa.....	13
CAPÍTULO II.....	15
REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	15
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	15





2.2.	ANÁLISIS DEL PROBLEMA	33
2.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	34
2.4.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	34
2.4.1.	Objetivo general	34
2.4.2.	Objetivos específicos	34
CAPÍTULO III	36
DESARROLLO DEL PROYECTO	36
3.1.	DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO	36
3.1.1.	Antecedentes de la investigación	36
3.1.2.	Bases Teóricas	41
3.1.3.	Bases Normativas	44
3.2.	DESARROLLO DEL PROYECTO	44
3.2.1.	Planear	45
3.2.2.	Hacer	60
3.2.3.	Verificar	73
3.2.4.	Actuar	75
3.2.5.	Definiendo cursos de capacitación del personal	75
3.3.	COSTOS DEL PROYECTO	77
3.3.1.	Costo por capacitación	78
3.3.2.	Costo por instalación	79
3.3.3.	Costo de insumos	81
3.3.4.	Costo por mantenimiento	81
3.3.5.	Costo de equipos de instalación	82
3.3.6.	Resumen de costos.	83
3.3.7.	Beneficios del proyecto	83
3.4.	CRONOGRAMA DEL PROYECTO	90





3.5.	CONCLUSIONES	92
3.6.	RECOMENDACIONES	93
CAPÍTULO IV		95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		95
CAPÍTULO V		97
GLOSARIO DE TÉRMINOS		97
CAPÍTULO VI.....		98
ANEXOS		98





ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Logotipo de la Empresa.....	2
Imagen 2 Mapa de Ubicación de la Empresa	2
Imagen 3 Organigrama de la Empresa.....	7
Imagen 4 Organigrama del Área de Desarrollo del Proyecto	8
Imagen 5 Caracterización de la Extracción de Mineral	18
Imagen 6 Diagrama de Procesos de Carguío.....	20
Imagen 7 Comunicación Ethernet	22
Imagen 8 Sistema SCADA	24
Imagen 9 Sistema SCADA Valores de Corriente, Tensión y Referencias	25
Imagen 10 Demoras en los Diagnósticos de Mantenimiento Correctivo	26
Imagen 11 Causa Efecto de las Demoras en los Diagnósticos.....	27
Imagen 12 Causas de Demoras en Mantenimientos Correctivos	29
Imagen 13 Eventos de Paradas Eléctricas Pala 20	46
Imagen 14 Eventos de Palas Eléctricas	47
Imagen 15 Árbol de Problemas Tiempo Excesivo Para Diagnóstico de Fallas	48
Imagen 16 Tiempos Largos por Mantenimiento Correctivo.....	50
Imagen 17 Tabla de Causa y Efecto	51
Imagen 18 Diagrama de Pareto por Categorías	53
Imagen 19 Diagrama de Flujo del Área a Trabajar	55
Imagen 20 Diagrama de Flujo de Tiempos Perdidos	57





Imagen 21 Áreas de Trabajo en Pala Eléctrica.....	63
Imagen 22 Switch Ethernet	64
Imagen 23 Nuevo Circuito Ethernet.....	65
Imagen 24 Diagrama de Flujo con Sistema Remoto.....	69
Imagen 25 Diagrama de Flujo con Sistema Instalado.....	71
Imagen 26 Cronograma de Realización del Proyecto en Pala 21	90
Imagen 27 Cronograma de Realización del Proyecto en Pala 22	91





ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis PESTEL.....	11
Tabla 2 Matriz FODA Cruzado de la Empresa.....	14
Tabla 3 Frecuencia de Causas de Mantenimientos Correctivos	28
Tabla 4 Tiempos Paradas Planificadas y no Planificadas	30
Tabla 5 Disponibilidad Mensual de Palas Eléctricas Año 2021	31
Tabla 6 Fallas por Reseteo, Número de Eventos y Duración.....	32
Tabla 7 Disponibilidad Anual 2021	33
Tabla 8 Frecuencia Acumulada	52
Tabla 9 Recursos en Software	61
Tabla 10 Recursos Utilizados en Hardware	61
Tabla 11 Recursos de Red	62
Tabla 12 Mano de Obra Necesaria	63
Tabla 13 Códigos IP a Equipos por Implementar.....	66
Tabla 14 Disponibilidad Esperada con Sistema Remoto	74
Tabla 15 Cursos Propuestos para Técnicos	76
Tabla 16 Cursos Propuestos para Operadores.....	77
Tabla 17 Costos de Capacitación del Personal Técnico	78
Tabla 18 Costos de Capacitación del Personal de Operación	78
Tabla 19 Costo de Capacitación Personal Técnico	79
Tabla 20 Costo por Instalación para un Equipo	80





Tabla 21 Costo de Equipo Licencias	80
Tabla 22 Costo de Insumos	81
Tabla 23 Costo por Mantenimiento	81
Tabla 24 Costo de Equipo Necesario para Sistema Remoto	82
Tabla 25 Resumen de Costos	83
Tabla 26 Factor de Parada por Tipo de Carguío	84
Tabla 27 Costos de Parada por Diagnóstico sin el Proyecto	85
Tabla 28 Costos de Parada por Diagnóstico con el Proyecto	86
Tabla 29 Beneficios Esperados	87
Tabla 30 Costo - Beneficio	88





ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha Técnica Pala P&H 4100XPC	98
Anexo 2 Ficha Técnica Pala P&H4100XPC	99





CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. es un complejo minero ubicado en el distrito de Uchumayo, en la provincia de Arequipa, en el Perú, aproximadamente a 20 millas de la ciudad de Arequipa y a una altitud promedio de 2.600 metros sobre el nivel del mar. La mina ha sido ampliada hacia una tasa de procesamiento de 1 000 000 de toneladas extraídas y 500 000 procesadas por día. Las operaciones de la mina Cerro Verde datan del siglo XIX, más tarde, en el año 1916, la empresa Anaconda se convirtió en propietaria de este yacimiento, el que poseyó hasta 1970 cuando el estado se hizo cargo de la mina. El gobierno extrajo los minerales de óxido de Cerro Verde y construyó en 1972 una de las primeras plantas de procesamiento del cobre mediante el sistema de extracción por solventes y electrodeposición (SX/EW) del mundo. En el año 1994 la compañía estadounidense Cyprus Amax compró la operación e un capital importante en la propiedad para aumentar y mejorar la productividad. Durante los ocho años posteriores a la privatización la producción de cobre aumento en alrededor de 350% y los costos se redujeron en más de 40%. (Cerro Verde, 2022)

Cerro Verde pasó a formar parte de la cartera de explotación minera de la Corporación Phelps Dodge en 1999, tras la compra de Cyprus Amax Minerals Company. En diciembre del 2006 entró en operación la Concentradora de Sulfuros Primarios, proyecto que demandó una inversión de US\$ 850 millones, con una capacidad de tratamiento de 108,000 TMD de mineral. En el año 2007, Freeport-McMoRan adquiere la corporación Phelps Dodge. Derek Jon Cooke se desempeña como Gerente General (CEO) desde el año 2016 hasta la actualidad. (Cerro Verde, 2022)





1.2. PERFIL DE LA EMPRESA

Sociedad Minera Cerro Verde es una compañía minera especializada en la producción y comercialización de cobre, con depósitos situados a 32 kilómetros al sur de la ciudad de Arequipa, en el distrito de Yarabamba. Sus operaciones mineras cubren hasta 21,482 hectáreas en tres concesiones: Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro. (Cerro Verde, 2022)

Imagen 1

Logotipo de la Empresa



Cerro Verde

Fuente: (Cerro Verde, 2022)

Imagen 2

Mapa de Ubicación de la Empresa



Fuente: (Cerro Verde, 2022)





1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA

1.3.1. Visión

La empresa tiene como Visión:

“Somos líderes de Producción Segura de cobre, haciendo de cada día nuestro mejor día”. (Cerro Verde, 2022)

1.3.2. Objetivos de la organización

Estamos comprometidos en hacer una minería ambiental y socialmente responsable, porque queremos que todos los peruanos se sientan orgullosos de ser un país minero. (Cerro Verde, 2022)

Orgullosos de tener una minería aliada de la agricultura, comprometida con el medio ambiente y que avanza hacia el desarrollo de la mano de todas sus comunidades vecinas. (Cerro Verde, 2022)

Sabemos que la única manera de lograr este objetivo es trabajando en equipo con el gobierno regional, las autoridades regionales, la sociedad civil y la población, porque juntos hacemos la diferencia. (Cerro Verde, 2022)

1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

El presente trabajo se desarrolla en la gerencia de mantenimiento mina, superintendencia mantenimiento eléctrico mina, donde se desarrolla el mantenimiento eléctrico de equipos de perforación así como de equipos de carguío en tajo mina como son palas eléctricas de marca P&H modelo 2800XP y 4100XPC, así como también de las palas hidráulicas de marca O&K modelo 6050, en esta área se realiza mantenimiento preventivo de 500hrs, 1000hrs, 1500hrs, 2000hrs y 2500hrs, respectivamente para cada equipo, realizando distintos pasos de mantenimiento dependiendo de las horas cumplidas por el equipo, todos los equipos trabajan las 24 horas del día, siendo casos fortuitos en los que no trabaje un equipo, como pueden ser por dispararos de mina, traslado de equipos a otros frentes o por falta de frente de minado, nosotros para





nuestro trabajo nos enfocaremos en las palas eléctricas marca P&H, para el cual en el área de mantenimiento eléctrico se cuenta con personal de mantenimiento y personal de campo los que se encargan de las paradas intempestivas de los equipos, paradas no programadas, realizando mantenimientos correctivos, todo el personal rota en estos puestos para sensibilizar al personal en la importancia de un buen mantenimiento preventivo y sea de conocimiento general en ellos el interés de realizar un buen trabajo, informando con tiempo cualquier reparación mayor a hacer, así evitar las paradas no programadas y si es así sean el menor tiempo posible ya que afecta la operación de la mina.

FUNCIONES PRINCIPALES

PRESIDENTE

Debe cumplir con las funciones asignadas por el reglamento; adoptar la política corporativa; aprobar e impulsar el desarrollo del programa anual; aprobar los recursos necesarios para asegurar el completo desarrollo y éxito del programa anual de seguridad y salud ocupacional; asimismo aprobar modificaciones que puedan surgir durante el desarrollo del programa anual de seguridad y salud ocupacional, a fin de buscar el mejoramiento continuo y revisar el desempeño de seguridad y salud ocupacional de sociedad minera cerro verde, disponiendo las acciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos estratégicos. (Cerro Verde, 2022)

GERENTES / SUPERINTENDENTES DE ÁREA

Cumplir con las funciones asignadas por el reglamento de seguridad y salud ocupacional D.S. N°055-2010-EM; promover el cumplimiento de la política corporativa de salud y seguridad de la minera; incorporar a la gestión de su gerencia los objetivos y metas del programa anual de seguridad y salud ocupacional; revisar el programa anual de seguridad y salud ocupacional, a través del comité de seguridad; cumplir con los programas de gestión de SSO establecidos en el programa anual de seguridad y salud ocupacional de SMCV en su gerencia; asignar los recursos necesarios para el cumplimiento de los programas de gestión del programa anual de seguridad y salud ocupacional;





apoyar y participar en actividades de comunicación de seguridad y salud ocupacional, con supervisores, trabajadores propios y contratistas de sus respectivas gerencias; revisar el desempeño de seguridad y salud ocupacional de su gerencia y disponer las acciones necesarias para el cumplimiento de las metas y de los objetivos estratégicos; verificar que se recopile la información necesaria para establecer el desempeño de seguridad y salud ocupacional de su gerencia y participar activamente en las reuniones de revisión de desempeño de seguridad y salud ocupacional de su gerencia. (Cerro Verde, 2022)

GERENCIA DE RECURSOS HUMANOS

Apoyar la programación y ejecución de las actividades de capacitación en seguridad y salud ocupacional. (Cerro Verde, 2022)

GERENCIA DE SALUD Y SEGURIDAD

Cumplir con las funciones asignadas por el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S. N°055-2010-EM artículo 68°; asesorar al comité de seguridad y salud ocupacional en la aprobación del programa anual de seguridad y salud ocupacional; apoyar el desarrollo del programa anual de seguridad y salud ocupacional, en las diferentes gerencias; revisar el desempeño de seguridad y salud ocupacional de las diferentes gerencias y emitir los informes de resultados, tanto a los gerentes de área como a la presidencia; Mantener registros de la información necesaria, que respalden el desempeño de seguridad y salud ocupacional; mantener registros actualizados de incidentes y estadísticas que permitan análisis detallados de tendencias e identificación de oportunidades de mejora. (Cerro Verde, 2022)

SUPERVISORES

Cumplir con las funciones asignadas por el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S. N°055-2010-EM. Artículos N°38 y 39; dar cumplimiento a la política corporativa de salud y seguridad en sociedad minera Cerro Verde S.A.A; participar activamente en el desarrollo e implementación de las actividades contempladas en el programa anual de seguridad y salud





ocupacional; apoyar y participar en actividades de comunicación de seguridad y salud ocupacional, con trabajadores propios y contratistas de sus respectivas gerencias; participación activa en las reuniones de revisión de desempeño de seguridad y salud ocupacional de la gerencia respectiva; informar a los trabajadores sobre los peligros y riesgos existentes en el lugar de trabajo que puedan afectar su salud o seguridad a través de las matrices de gestión de riesgos de seguridad y de salud ocupacional u otra información relacionada; realizar inspecciones frecuentes durante el turno de trabajo, impartiendo las medidas pertinentes de seguridad a sus trabajadores; investigar los incidentes de su área de trabajo con la finalidad de identificar las verdaderas causas para corregirlas o eliminarlas; efectuar el reporte de incidente según procedimiento de SMCV "SSOpr0004: Reporte y análisis de incidentes"; realizar seguimiento de los planes de acción de su área de competencia. (Cerro Verde, 2022)

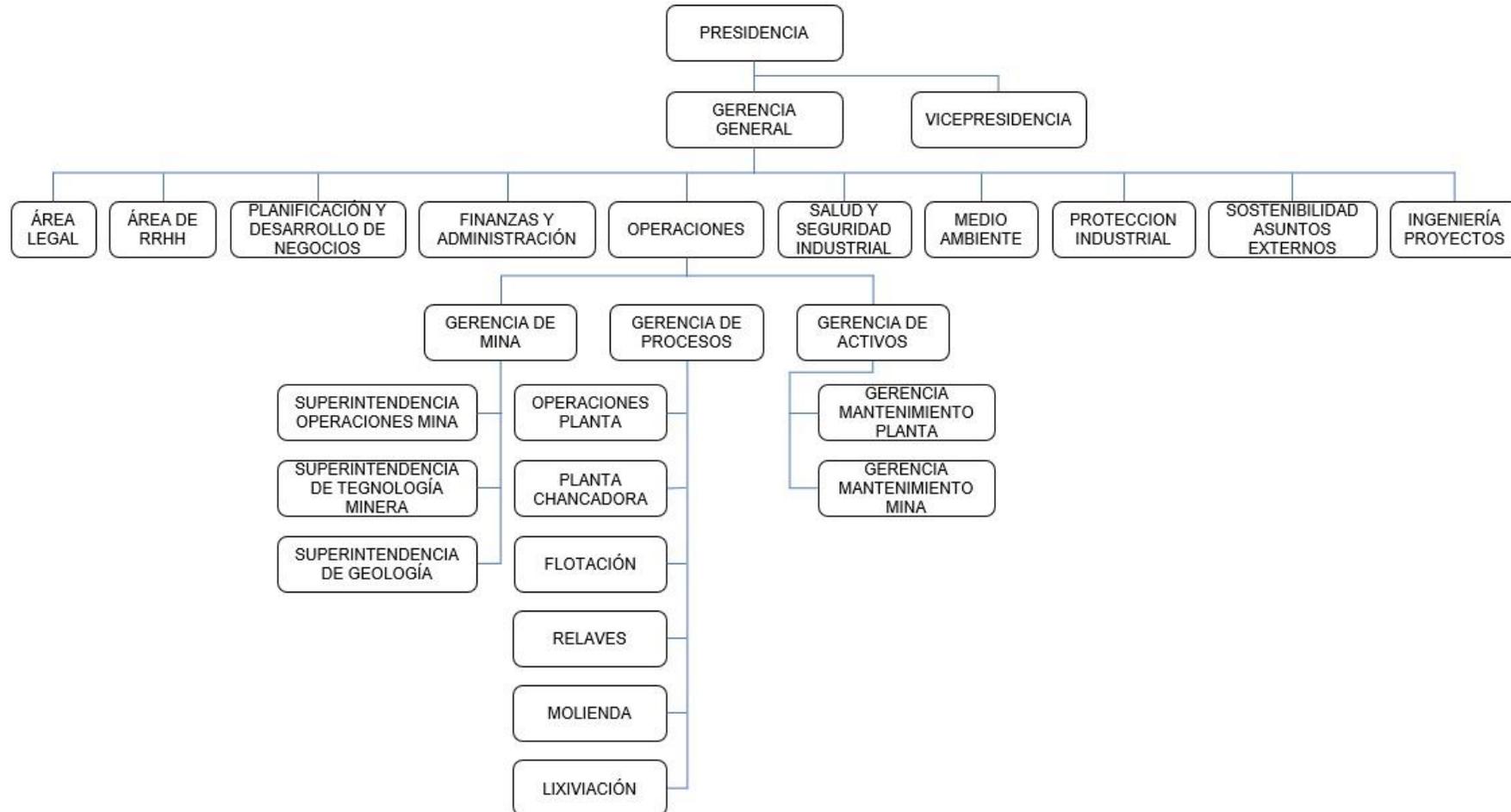
TRABAJADORES

Asumir la responsabilidad individual orientada a la protección de su salud e integridad física, así como mantener las condiciones de su área de trabajo en condiciones tales que se reduzcan los factores de riesgo con alto potencial de producir lesiones físicas en el marco interno de trabajo y la legislación vigente; cumplir con las obligaciones asignadas por el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S. N°055-2010-EM artículos 41-48 y otras asignadas en los documentos internos de sociedad minera Cerro Verde S.A.A. que se generen como consecuencia del desarrollo de las actividades de salud ocupacional y seguridad; Interiorizar la cultura de seguridad que SMCV promueve y desarrollar sus actividades en el marco de la misma. (Cerro Verde, 2022)





Imagen 3
Organigrama de la Empresa

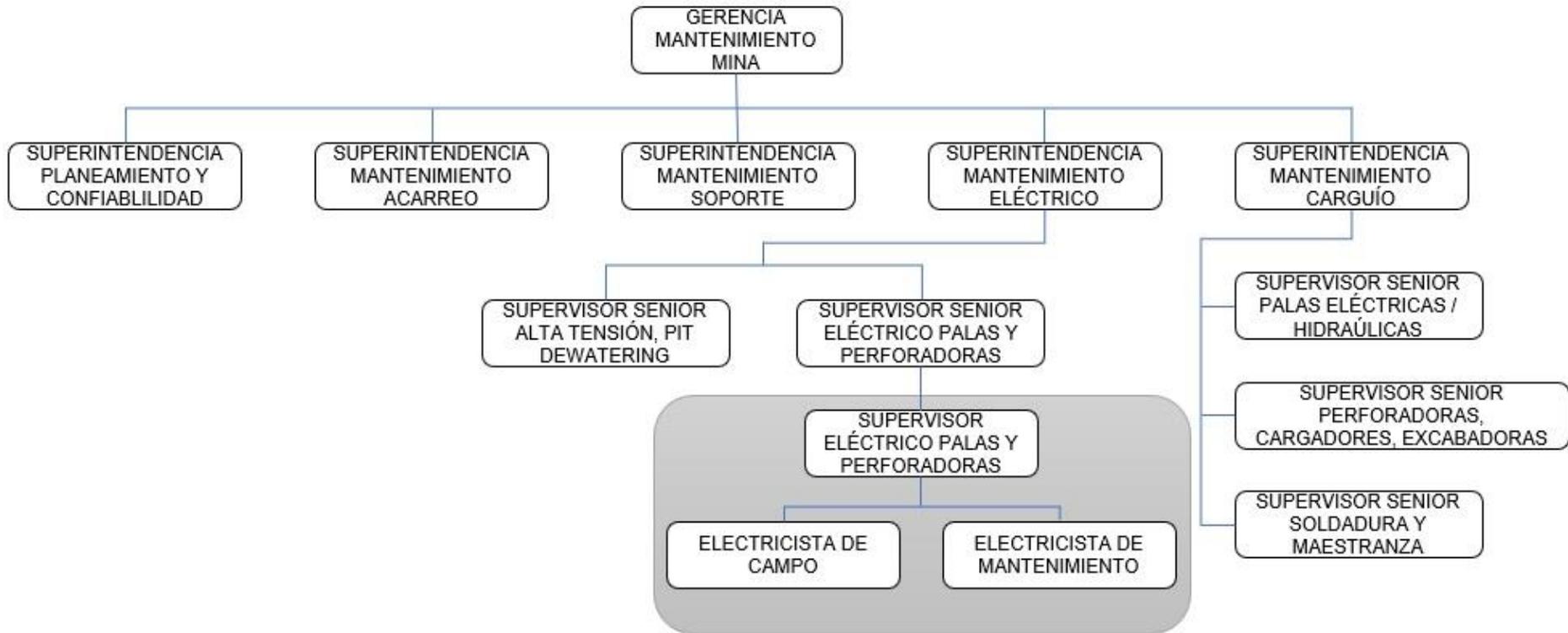


Fuente: (Cerro Verde, 2022)





Imagen 4
Organigrama del Área de Desarrollo del Proyecto



Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)





1.4.1. Misión

La empresa tiene como Misión:

Para seguir siendo los mejores lograremos nuestra Visión a través de:

Excelencia en Seguridad y Medio Ambiente: "Todos regresan a casa seguros todos los días". Haciendo que la Producción Segura importe, previniendo fatalidades, eliminando eventos de alto riesgo, fortaleciendo la conciencia ambiental. (Cerro Verde, 2022)

Excelencia en la Personas: "Trabajando juntos para fortalecer nuestra cultura de alto rendimiento". Desarrollando a las personas, involucrando y empoderando a nuestra gente, fomentando un ambiente de colaboración, eliminando los silos, comunicándonos efectivamente, orientándonos a la acción, desarrollando el Liderazgo, tratando a las personas con respeto y dignidad, fijando altas expectativas y siendo responsables por nuestros actos y actuando éticamente y haciendo lo correcto siempre. (Cerro Verde, 2022)

Excelencia Operacional: "Lograr mejores eficiencias operacionales cada día". Cumpliendo y superando nuestros objetivos, mejorando continuamente, optimizando el Plan de Mina y su ejecución, Gestionando el mantenimiento enfocado en la confiabilidad, Orientándonos a la Innovación y Automatización, orientándonos a la Eficiencia, eliminando burocracias y barreras, enfocándonos en la Gestión de Riesgos. (Cerro Verde, 2022)

Gestión de Costos: "Invirtiendo dinero sabiamente para maximizar el beneficio". Enfocándonos en crear y añadir valor para el negocio, liderando eficientemente la minería de cobre de baja ley, controlando costos, haciendo una Implementación efectiva de capital. involucrando a todos los trabajadores (INNOVA, CSI, Agile, etc.) (Cerro Verde, 2022)

Responsabilidad Social y con Grupos de Interés: "Mantener aceptación para operar localmente". Operando de una manera





ambiental y socialmente responsable, respetando a todos los grupos de interés, cumpliendo nuestros compromisos y acuerdos, cooperando proactivamente con la comunidad. (Cerro Verde, 2022)

1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA

1.5.1. Análisis externo de la empresa

Para el análisis externo de la empresa se utiliza el análisis PESTEL, este análisis permitirá conocer la realidad externa a la empresa para poder reconocer los diferentes factores y tomar acciones correctas.



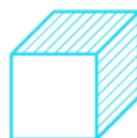


Tabla 1
Análisis FESTEEL

	ENTORNO	FACTOR	DETALLE	IMPACTO
P	POLÍTICO	Inestabilidad Política	Disputa entre el poder ejecutivo y legislativo	A
			Cambio constante de funcionarios políticos	
		Expectativa de las empresas mineras a la creación de la Nueva Ley General de Minería	Cambio constante de funcionarios políticos	A
E	ECONÓMICO	Fomento de la inversión extranjera	A travez de los diversos tratados que a firmado el país	O
		El país registra una de las economías con mayor crecimiento en la región.	Gracias al sector minero, pues la exportación de metales genera un gran aporte al PBI.	O
		El país presenta una sólida macroeconomía que brinda solidez y confianza	Esto se ve reflejado en bajas tasas de inflación, superávit fiscal y comercial, y fuertes reservas internacionales netas.	O
S	SOCIOCULTURAL	Migración de fuerza laboral entre empresas mineras	Las empresas mineras ubicadas cerca a las ciudades tienen mayor oportunidad de especialistas laborales	O
		Oposición de comunidades a las mineras	Bloquean corredores mineros y generan malestar social	A
		Mejoramiento de la infraestructura en las regiones	A través del pago de impuestos y el canon minero	O
		Desarrollo de estrategias para fortalecer desarrollo de las comunidades	A través de capacitaciones multisectoriales de parte de las mineras en el país.	O
T	TECNOLÓGICO	Automatización en procesos y maquinarias	Permite a las mineras optimizar y reducir costos	O
		Avance tecnológico en el sector industrial	Monitoreos vía remota desde cualquier parte del mundo	O
		Obsolescencia de equipos tecnológicos	Por el constante avance de la tecnología se vencen licencias prontamente	A
E	ECOLÓGICO AMBIENTAL	Escasez de difusión del Estado a la población	Esto se debe a que el Estado no comunica oportunamente los procesos y permisos (como el uso de suelos, el agua, el cuidado del medio ambiente, etc.) que pueden obtener las mineras, generando muchas veces malentendidos en la población.	A
		Contaminación ambiental	Contaminación del aire, los suelos, el agua etc.	A
L	LEGAL	Ley de Minería y sus reglamentos.	Esta ley en cierta forma genera confianza y seguridad a las mineras, así como a las nuevas inversiones.	O

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





En este análisis PESTEL se puede observar que el sector político con sus desaciertos y desavenencias no favorece al sector minero, pese a los esfuerzos del gobierno de atraer la inversión extranjera, las inversiones extranjeras han disminuido debido a la inestabilidad política. En cuanto al entorno económico, favorece en cierta forma al sector minero porque este sector se muestra estable y registra uno de los mayores crecimientos de la región, también debido a que el país es uno de los principales productores de diversos metales esto no solo se debe a la diversidad sino a la estabilidad económica. En el entorno sociocultural, el país viene soportando gran inestabilidad en este sector, debido a la oposición de varias comunidades anti mineras vienen cerrando corredores mineros generando malestar y pérdidas económicas, estas comunidades exigen renta minera, resarcimiento económico y reclasificación de las vías; estos levantamientos reflejan la debilidad e incoherencia del gobierno respecto a la promoción de la inversión privada. En el sector tecnológico, el sector minero está adoptando especial de la digitalización, la tecnología presiona a las mineras para que respondan positivamente frente a la creciente de demanda de los metales y al mismo tiempo a los temas ambientales, políticos y sociales, por otro lado, el avance de la tecnología genera que los equipos se vuelvan obsoletos prontamente. En cuanto al entorno legal la ley de minería genera confianza y seguridad a las mineras, así como a las nuevas inversiones.





1.5.2. Análisis interno de la empresa

Las empresas cuentan con variables que afectan en el desarrollo de la empresa, cuando estas variables son identificadas pueden ser controladas y solucionadas. Para ello se identifica las fortalezas y debilidades para luego presentar un análisis FODA

FORTALEZAS:

- F01. Ambiente de trabajo saludable.
- F02. Producción del 18.2% de cobre y 27% de molibdeno a nivel Nacional.
- F03. Genera el 26% del PBI de Arequipa y el 2% de PBI a nivel Nacional.
- F04. Pertenece a la corporación Freeport MC-Moran, que está en constante crecimiento.
- F05. Cuentan con diversos proyectos de responsabilidad Social.
- F06. Monitoreo y control de aire.
- F07. Es responsable y cumple con las normas en el uso del agua, promoviendo la reutilización.
- F08. cuenta con activos como maquinarias de última tecnología, como las Palas Eléctricas.

DEBILIDADES:

- D01. No cuenta con campamento minero.
- D02. Poco recurso hídrico en la zona.
- D03. Debe trasladar a todo su personal todos los días.
- D04. Falta de capacitación al personal técnico.
- D05. Escasez de personal en el área de mantenimiento.
- D06. Falta de integración y cooperación entre áreas de la empresa.





Tabla 2
Matriz FODA Cruzado de la Empresa

<p>MATRIZ FODA CRUZADO</p>	<p>Fortalezas (F) F01.- Ambiente de trabajo saludable. F02.- Producción del 18.2% de cobre y 27% de molibdeno a nivel Nacional. F03.- Genera el 26% del PBI de Arequipa y el 2% de PBI a nivel Nacional. F04.- Pertenece a la corporación Freeport MC-Moran, que está en constante crecimiento. F05.- Cuentan con diversos proyectos de responsabilidad Social. F06.- Monitoreo y control de aire. F07.- Es responsable y cumple con las normas en el uso del agua, promoviendo la reutilización. F08.- Cuenta con activos como maquinarias de última tecnología, como las Palas Eléctricas.</p>	<p>Debilidades (D) D01.- No cuenta con campamento minero. D02.- Poco recurso hídrico en la zona. D03.- Debe trasladar a todo su personal todos los días. D04.- La falta de capacitación continua genera atrasos laborales. D05.- Personal técnico insuficiente en el área de mantenimiento. D06.- Falta de integración y cooperación entre las áreas de trabajo de la empresa.</p>
<p>Oportunidades (O) O1.- Fomento a la inversión extranjera O2.- Economía nacional con mayor crecimiento en América Latina O3.- Solidez macroeconómica del país O4.- Migración de fuerza laboral entre empresas mineras O5.- Inversión en infraestructura en la región. O6.- Proyectos de desarrollo social para las comunidades por parte de la minera. O7.- Automatización en procesos y maquinarias. O8.- Avance de tecnología en el sector industrial.</p>	<p>ESTRATEGIAS (FO) 1.- Implementar sistemas autónomos en el diagnóstico de fallas para los equipos de producción. F1, F2, F3, F4, F7, O7, O8, O3, O2 2.- Mejorar la comunicación a las comunidades sobre el uso de aire, agua y suelos, así como los permisos para evitar conflictos sociales F5, F6, O6 3.- Realizar y afianzar nuevos proyectos de exploración para incrementar la vida útil de la minera. F2, F3, F4, O2, O3</p>	<p>ESTRATEGIAS (DO) 1.- Implementar un sistema de capacitación constante al personal de mantenimiento. O7, O8, D4, O3 2.- Integrar la participación de las empresas propias de las marcas O3, O4, D5 3.- Fomentar el desarrollo operacional del personal a través de la actualización y modernización O2, O7, O8, D4, D5</p>
<p>Amenazas (A) A1.- Inestabilidad política A2.- Expectativa ante la creación de la nueva Ley General de Minería. A3.- Oposición de las comunidades a las mineras. A4.- Obsolescencia de equipos tecnológicos. A5.- La población desconoce las autorizaciones y permisos en cuanto al uso de agua, aire y suelo por parte del estado a las mineras. A6.- Contaminación de suelo, aire y agua.</p>	<p>ESTRATEGIAS (FA) 1.- Trabajar con grupos de interés para garantizar las buenas relaciones. F5, F6, F7, A6, A5, A3. 2.- Implementar más proyectos de responsabilidad Social, siguiendo la visión de la corporación Freeport Mc-Moran. F4, F5, F6, A3, A5, A6. 3.- Implementar programa de capacitación continua para técnicos de mantenimiento. F6, F4, F2, A4.</p>	<p>ESTRATEGIAS (DA) 1.- Trabajar con las comunidades y grupos de interés para garantizar las buenas relaciones. D2, A3, A5 2.- Buscar mejoras con relación a temas sociales. D2, D6, A6, A5, A3 3.- Implementar capacitación continua a técnicos de mantenimiento para asegurar la disponibilidad y durabilidad de los equipos de producción. D4, A4</p>

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





CAPÍTULO II

REALIDAD PROBLEMÁTICA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el área de mantenimiento eléctrico mina se realiza el soporte de equipos de perforación y de carguío dentro de las operaciones de la mina Cerro Verde el cual cuenta con dos tajos, tajo Cerro Verde y tajo Santa Rosa. Los tiempos de traslados hacia los equipos de producción para realizar el mantenimiento son considerables, estos tiempos dependen de la ubicación del equipo, estado de vías, tráfico, clima adverso y entre otros, para ello es indispensable considerar los recursos necesarios para garantizar un buen soporte, estos requisitos pueden ser, herramientas, repuestos y logística a utilizar en el mantenimiento preventivo del equipo designado. Los trabajos de planificación a todo nivel, coordinación y comunicación juegan un rol muy importante ya que por las dimensiones considerables de los equipos de carguío en los tajos estos no son trasladados a un taller de mantenimiento donde las condiciones serían completamente diferentes. En mantenimiento eléctrico mina se realiza mantenimientos preventivos con horas de utilización del equipo que de acuerdo con las recomendaciones de la marca se realizan cumpliendo fichas de mantenimiento con diferentes funciones dependiendo de las horas máquina que hayan pasado así sustentar la mantenibilidad, diagnóstico y mejora de los equipos; los equipos de producción en los tajos son expuestos a condiciones de trabajo muy agresivas y a pesar de que sus diseños son considerados para este tipo de agresividad se pueden presentar nuevos problemas que necesariamente tienen que ser evaluados y levantados durante una parada ya planificada. Un papel importante que juegan los planner es la planificación de las tareas en base a los reportes de campo, soporte necesario de búsqueda de repuestos y generación de ordenes de trabajo. Considerando la envergadura de una parada de estos equipos en mantenimiento, implica aprovechar el mayor tiempo posible y dar solución inmediata a la mayor parte de desperfectos ya que una pala implica interacción de muchas áreas como son electricistas, soldadura, predictivo, mecánicos, tecnología minera, contratistas de sistema





contra incendios, aire acondicionado y demás trabajos programados por otras áreas. Es así como en un periodo de 8 horas que es el tiempo aproximado que operaciones mina cede el equipo para poder realizar los mantenimientos, se tiene que aprovechar al máximo para cumplir con todas las plantillas de mantenimiento y levantamiento de observaciones hechas por parte del mismo personal, todo esto para asegurar la operatividad del equipo hasta su próximo mantenimiento. En estas labores es importante la comunicación ya que hay mucha interacción de áreas en el mantenimiento de un equipo como es una pala eléctrica, para la realización de diferentes pruebas eléctricas o mecánicas implica la salida de personal no involucrado y conocimiento de las labores de pruebas para evitar daños personales es así que muchas veces se depende de las demás áreas para verificar la funcionabilidad del equipo, todo esto lleva a que en determinados equipos se exceda del tiempo de parada programada.

Los frentes de trabajo de estos equipos son en condiciones muy agresivas por el espacio en los cuales debe intervenir el equipo y por el material fragmentado que debe remover, los cuales fueron fragmentados por procesos de voladura que en momentos no fueron bien optimizados generando frentes de trabajo muy duros de remover, generando sobreesfuerzos del equipo y obligando a operaciones a realizar funciones de carguío que no son favorables para el equipo y para las cuales no fue creado este equipo, todas estas condiciones genera muchas veces tener equipo auxiliar cercano para ayudar a mejorar estas condiciones, la acumulación de equipos genera climas no favorables para la buena funcionabilidad de componentes electrónicos, sensores y actuadores que intervienen en las palas eléctricas los cuales en una condición normal permitirían su funcionamiento correcto; estos equipos cuentan con sistemas de presurización de sala de máquinas y filtros para minimizar la contaminación de componentes electrónicos, muchas veces siendo no suficiente y generando falsa señales de censado, permitiendo eventos inesperados del equipo. El crecimiento de la empresa y la ampliación de producción además del interés de la empresa en tener lo último en tecnología por el bien de la producción generó la llegada de nuevos equipos con sistemas modificados en la parte de control, potencia y operación del equipo, todo esto como parte de la nueva tecnología





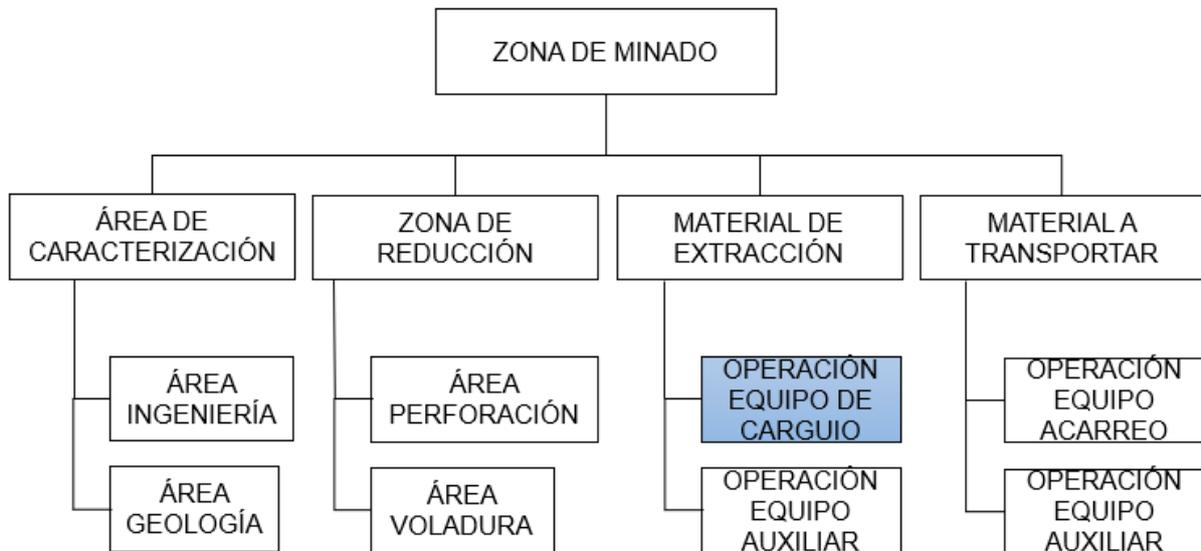
de las palas eléctricas en esta marca, sus nuevo sistema de control trae nuevas condiciones de operación, mantenimiento y diagnóstico de fallas, así como también nuevos rangos de operación como son niveles de inclinación de la pala eléctrica, niveles de impacto en giro o en el sistema de carguío, todos estos factores muchas veces siendo mal interpretado por personal de operación ya que en la operación minera se cuenta con equipos de la misma marca pero más antiguos, no siendo las mismas condiciones para cada uno de ellos ya que mientras mayor sea los sensores implementados en un equipo o proceso, será mayor el cuidado que se deba tener con ellos, todo esto por el bien de la máquina y las buenas prácticas de operación, todos estos eventos se manifiesta en paradas intempestivas llevándonos a una parada por mantenimiento correctivo, provocando la ineficiencia del equipo, disminución de la producción meta que tiene operaciones mina, pérdida de horas en producción de equipos de acarreo, perdida de horas hombre y entre otras pérdidas económicas. Debido al avance de la tecnología hoy en día las maquinarias de producción y en general toda la industria han dado un salto en mejoras positivas como el autodiagnóstico de los equipos mediante la aplicación de sensórica, actórica, implementación de PLC, implementación de sistemas SCADA, derivando al personal de mantenimiento a la falla en sí y dependiendo de la experiencia y conocimiento del sistema por parte del personal de mantenimiento este realizará un buen diagnóstico y una rápida evaluación y resolución del problema, aquí se generan también dos problemas desconocimiento de manejo del sistema por ser nuevo en la empresa llevando al personal de mantenimiento a un mal diagnóstico y otro problema es el desconocimiento del personal de operaciones por ser este uno más moderno con nuevas condiciones de operación generando un mal reporte de falla.





Imagen 5

Caracterización de la Extracción de Mineral



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

En la empresa para asegurar que las maquinarias, equipos e instalaciones tengan altos índices de disponibilidad, confiabilidad y sean duraderos está el área de mantenimiento el cual es crucial para asegurar el cumplimiento de estos índices.

Para ello es muy importante que se realice una gestión eficiente de los recursos a utilizar, pues permite que se pueda lograr el cumplimiento de objetivos, por ello es necesario implementar herramientas para desechar elementos que resten valor al cumplimiento de objetivos.

Si por alguna razón o circunstancia el área de mantenimiento no cumple con sus funciones importantes, los índices de fallas y la disponibilidad de los equipos caerá dependiendo de cuánto esté fallando esta área, es ahí la importancia del manejo de su gestión, ya que implica maquinarias, repuestos, equipos de prueba, capacitación de personal, manejo de repuestos, análisis de fallas, interpretación de códigos de fallas, conocimiento de cada parte del equipo para poder interpretar y dar un buen diagnóstico de la falla.





El área de mantenimiento está enfocada en las buenas prácticas para cumplir al máximo los procedimientos ya establecidos para el mantenimiento preventivo, desde la planificación que está sujeta a los reportes de campo, al análisis de los eventos que reporta el sistema, las recomendaciones para las buenas prácticas de operación, la constante comunicación entre mantenimiento y operador, la logística y los suficientes recursos para cumplir con el 100% de las tareas programadas en los mantenimientos. El equipo de mantenimiento se viene esforzando para mejorar aún más las buenas prácticas de operación y reporte de fallas con los operadores y que el área de mina tome conciencia y brinde los equipos en la hora programada para no generar demoras.

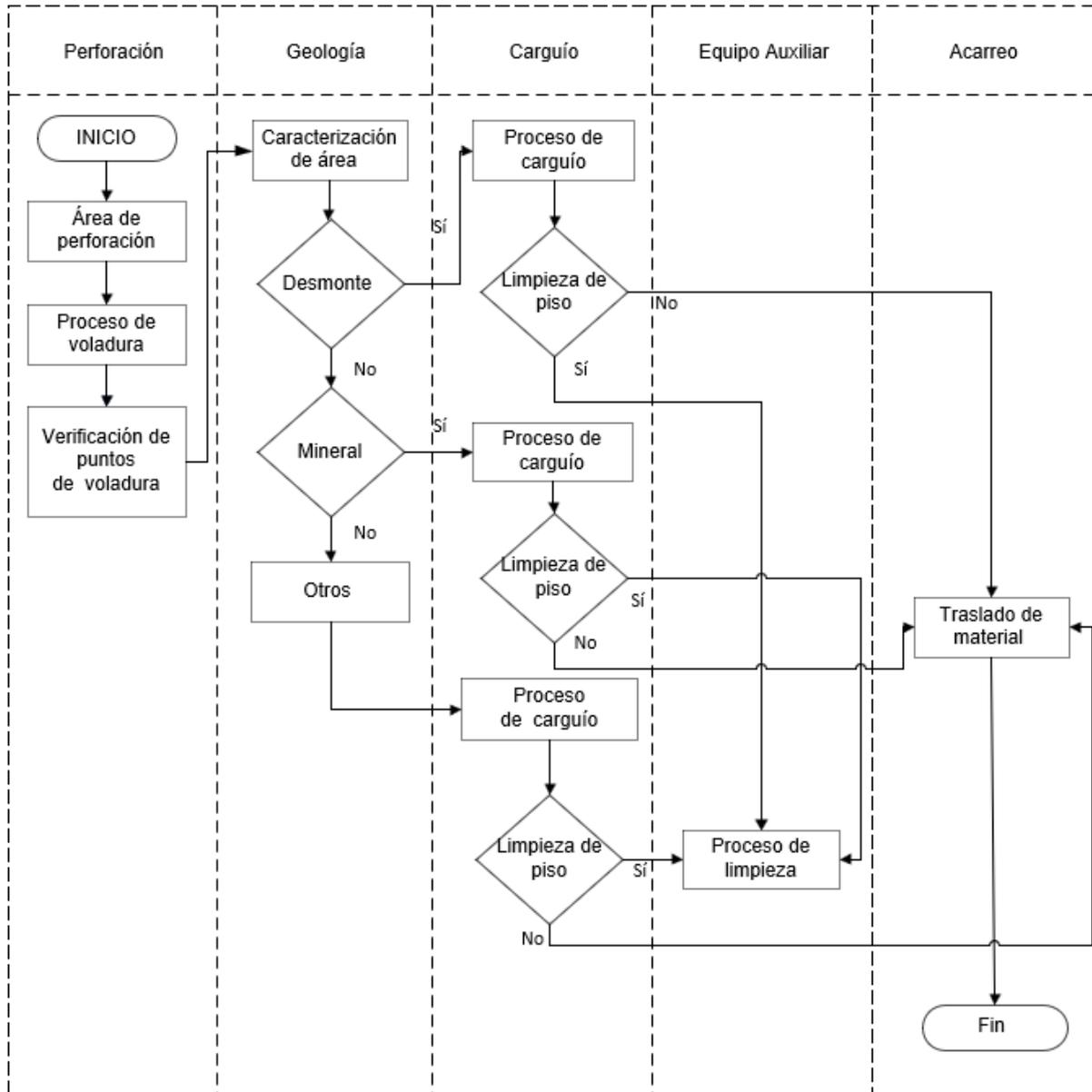
Una de las mejoras notables en la programación de los mantenimientos, es el de trasladar de forma inmediata los reportes elaborados por el personal de campo a planificación, ya que le da el tiempo necesario para generar la programación, la solicitud de repuestos, logística, coordinar el apoyo de otras áreas o apoyo de empresas terceras si fuera necesario.

Los tiempos de parada por fallas intempestivas son muy recurrentes notándose en las metas de producción y factores de KPI, también en equipos parados como camiones mineros y equipo auxiliar, como se puede observar en la siguiente imagen, el equipo de carguío es vital para la movilización y extracción del material del tajo hacia los botaderos o hacia la planta de chancado primario donde llega el mineral.





Imagen 6
Diagrama de Procesos de Carguío



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

Como se puede observar en la imagen 6 el proceso de carguío se inicia desde la preparación del terreno que es mediante un estudio de área para que entren equipos de perforación, los cuales mediante un proceso de voladura posteriormente permitirá la fragmentación del terreno, es ahí donde recién entra un equipo de carguío para este caso la pala eléctrica, dependiendo al avance del traslado del material fragmentado es que los equipos de perforación volverán





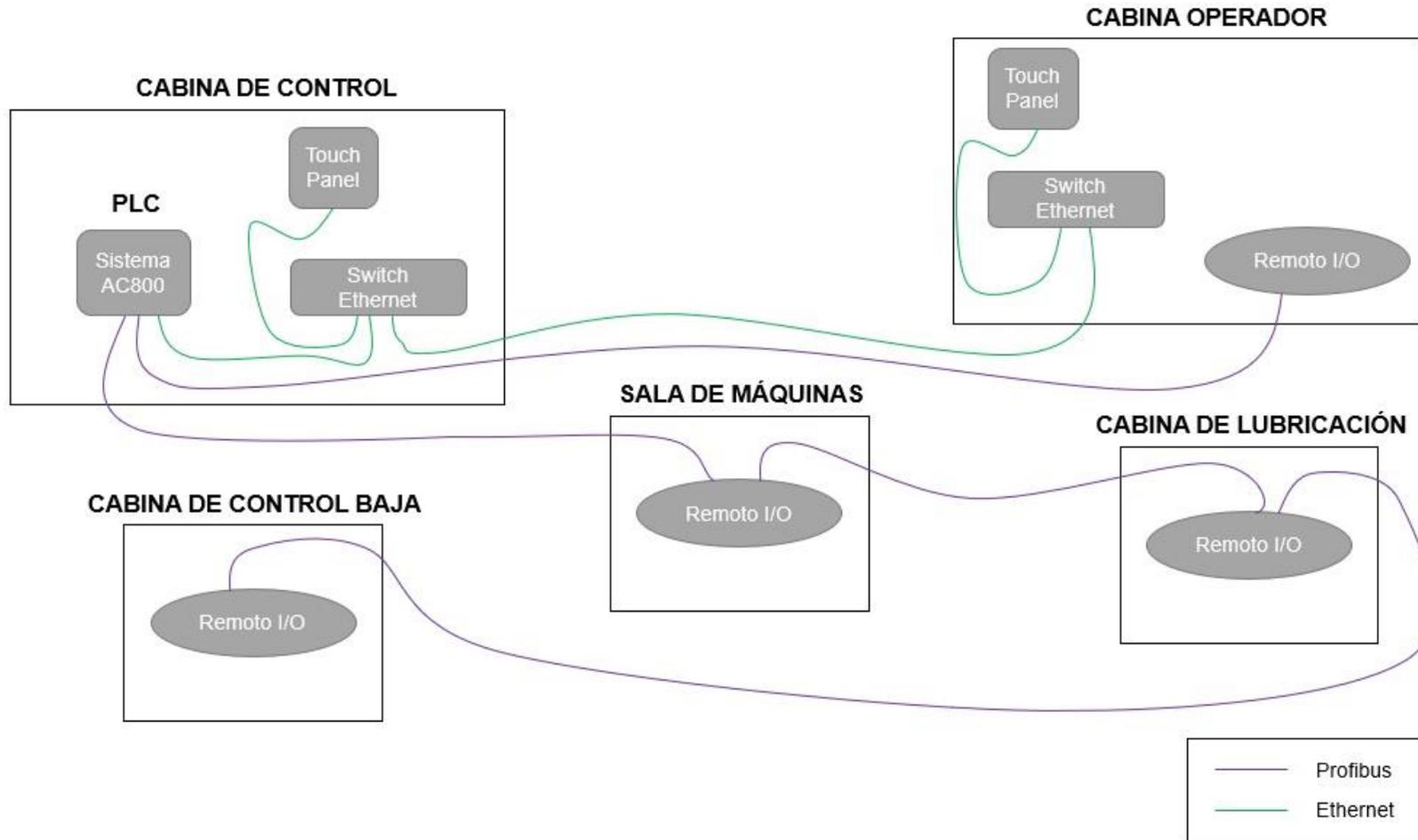
a tener frente de trabajo, seguidamente mediante otro estudio se definirá que tipo de material fue fragmentado siendo marcado y definido para que la pala eléctrica mande el material a botaderos o a planta industrial, el material fragmentado y el mismo proceso de carguío hace que los pisos y vías de acceso a la pala se contaminen y malogren las llantas de los camiones los cuales se encargan de llevar el material a los distintos frentes de acumulación, ahí la importancia de los equipos auxiliares en mantener vías limpias y accesos libres para minimizar los daños a otros equipos, tanto los equipos de perforación, acarreo y auxiliar dependen de la operatividad de la pala eléctrica siendo importante su funcionamiento.

Las palas eléctricas son marca P&H las cuales cuentan con un sistema de control llamado Centurión, donde se procesa toda la información programada en un PLC de la marca ABB el cual viene ya de fábrica por parte de la marca P&H con todo un programa de funcionabilidad y accesibilidad hacia el equipo.





Imagen 7
Comunicación Ethernet



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





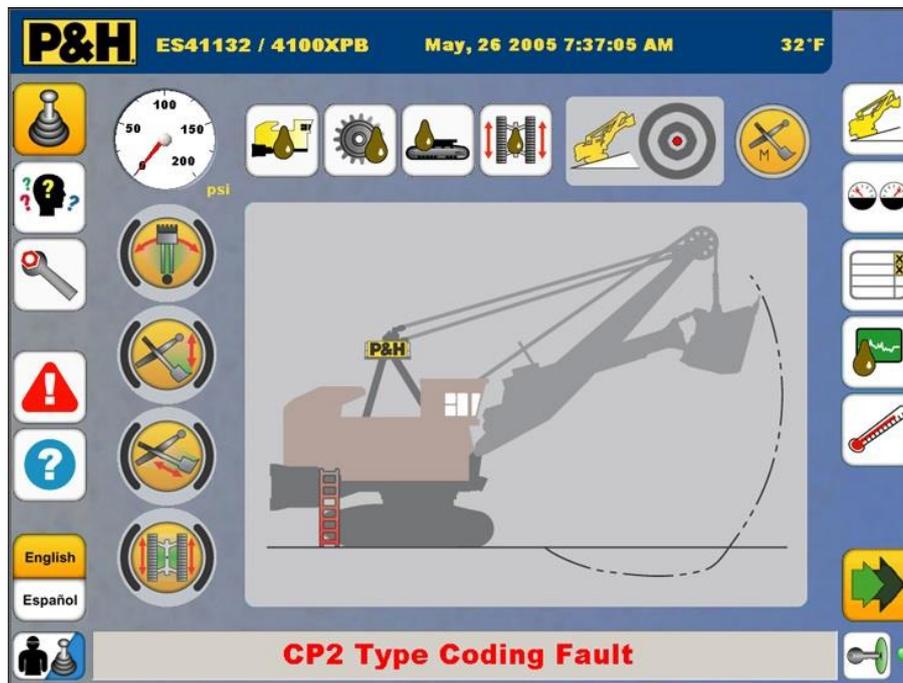
El sistema de comunicación de las palas P&H es mediante el control Centurión, con un PLC maestro marca ABB, controladores esclavos de marca SIEMENS, su sistema de comunicación es Profibus el cual permite tener un control total y seccionado de todo el equipo, recopilando información de cada sensor y sistema de protección. Estructuralmente la pala P&H se puede dividir en tres grupos que serían Upper (parte superior) donde entra la cabina del operador, pluma y sistema de empuje de la pala, el techo donde se encuentran los sistemas de presurización de la sala de máquinas; sala de máquinas, donde se encuentra el sistema Centurión, sistema de potencia de la pala, sistema de lubricación y sistema neumático; Lower (parte inferior) que vendría a ser todo el sistema de propulsión de la pala junto a anillos de alta tensión el cual permite la alimentación de energía eléctrica para el equipo.

Dentro del control Centurión trae un sistema SCADA el cual permite la interacción hombre máquina, aquí se puede visualizar todos los códigos de fallas y eventos que el equipo nos puede mandar, aquí se debe diferenciar tres grandes grupos de eventos, nivel 01 el cual solo es advertencia, no lo detiene al equipo; nivel 02 el cual es un evento temporizado en 30 segundos, terminado este tiempo detiene al equipo y requiere de una verificación por parte del operador y que él entre en conocimiento ya que se activó algún sistema de protección de la máquina detectando un evento que atenta contra la integridad del equipo; nivel 03, son eventos de parada inmediata del equipo, dependiendo en que movimiento y posición del equipo puede ocurrir una parada con consecuencias graves. La importancia de este sistema SCADA es interpretar los códigos de fallas para no alargar la parada y no afectar la productividad del equipo.





Imagen 8
Sistema SCADA



Fuente: (Cerro Verde, 2022)

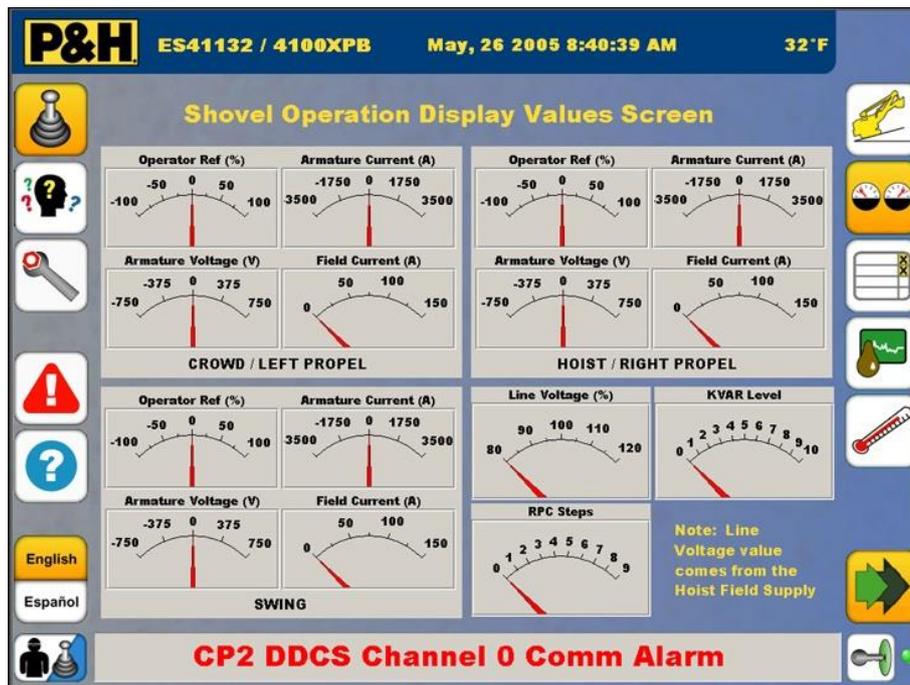
Los trabajos de mantenimiento se fueron mejorando en el tiempo generando mejoras en las paradas imprevistas los cuales generaban mantenimientos correctivos, paradas no programadas, muchas veces paradas de largo tiempo de hasta 48 horas, todo esto por malos diagnósticos y malos reportes los cuales generaron que las fallas mínimas se vayan sumando en el tiempo, por no saber interpretar los códigos de fallas y no hacer un seguimiento en línea del equipo lo cual es casi imposible ya que requiere que un personal este dentro del equipo en plena operación poniendo en riesgo la integridad del personal, es aquí que nace la idea del proyecto de sacar este sistema SCADA a un nivel remoto el cual facilitaría el diagnóstico en línea de los equipos teniendo a la mano los valores de voltaje y corriente de cada sistema y en tiempo real como se muestra en la imagen siguiente, realizando un monitoreo constante del equipo sin exponer al personal ni al equipo, el cual se reflejaría en paradas para que suba y baje un personal de forma segura sin equipos de gran envergadura alrededor que ponga en riesgo la integridad del personal.





Imagen 9

Sistema SCADA Valores de Corriente, Tensión y Referencias



Fuente: (Cerro Verde, 2022)

Para una mejor identificación de las demoras en los diagnósticos de mantenimiento correctivo de los equipos de carguío dentro del área de mantenimiento se realiza el diagrama de causa efecto (Ishikawa) teniendo una lluvia de ideas del grupo de trabajo para la identificación y conocimiento de la posible causas raíz.





Imagen 10

Demoras en los Diagnósticos de Mantenimiento Correctivo



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





De acuerdo con el análisis de causa efecto se puede categorizar las causas que generan demoras en los diagnósticos de los mantenimientos correctivos analizándolas por las frecuencias de suceso.

Imagen 11

Causa Efecto de las Demoras en los Diagnósticos

	CAUSA	SUBCAUSA	VALOR	VALOR TOTAL
MÁQUINA	Mala interpretación de códigos de falla	Personal nuevo	1	39
		Nueva tecnología	4	
		Falta de capacitación	4	
		Desconocimiento por operación	3	
	Nuevos códigos de falla	Equipos recientes	2	
		Desconocimiento por personal técnico	2	
		Desconocimiento por personal de operación	2	
	Condiciones de operación de equipo	Nuevas actualizaciones en frente de operación	1	
		Niveles de protección más altos	2	
	Actualización sistema SCADA	Falta de un sistema remoto	4	
		Sistema SCADA inaccesible	4	
		Falta de entrenamiento	3	
		Nuevas condiciones de falla	4	
Nuevos procedimientos para reparaciones		3		
MANO DE OBRA	Falta de recurso humano	Trabajos de Mantenimiento incompletos	4	9
		Falta de apoyo en atención en campo	2	
	Falta de personal capacitado	Personal reciente en la empresa	1	
		Personal de operación sin entrenamiento	2	
MATERIAL	Falta de tecnología moderna para apoyo	Diagnósticos a destiempo	5	14
		Distancias largas para diagnóstico	4	
		Falta de un sistema remoto	5	
MÉTODO	Reporte de fallas equivocado	Desconocimiento de nuevos códigos de falla	4	21
		Nueva tecnología	3	
		Personal técnico sin entrenamiento	3	
	Mala interpretación de eventos operacionales	Actualización del sistema SCADA	4	
		Personal de operación sin entrenamiento	2	
		Personal técnico sin entrenamiento	3	
		Confusión equipos nuevos con equipos antiguos	2	

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

En esta tabla se muestra las categorías y las causas de cada una de ellas este resultado se obtuvo de la experiencia del investigador y la entrevista al personal





de mantenimiento eléctrico mina de palas, a cada sub causa se le asigna un valor de criticidad entre 1 y 5 siendo 1 menos crítico y 5 más crítico, estos datos ayudarán a generar el diagrama de Pareto que identificará las principales causas que generan las demoras en el mantenimiento correctivo.

Tabla 3
Frecuencia de Causas de Mantenimientos Correctivos

CAUSAS	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA
Actualización sistema SCADA	18	22%
Falta de tecnología moderna para apoyo	14	39%
Reporte de fallas equivocado	14	55%
Mala interpretación de códigos de falla	12	70%
Mala interpretación de eventos operacionales	7	78%
Nuevos códigos de falla	6	86%
Falta de recurso humano	6	93%
Condiciones de operación de equipo	3	96%
Falta de personal capacitado	3	100%

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

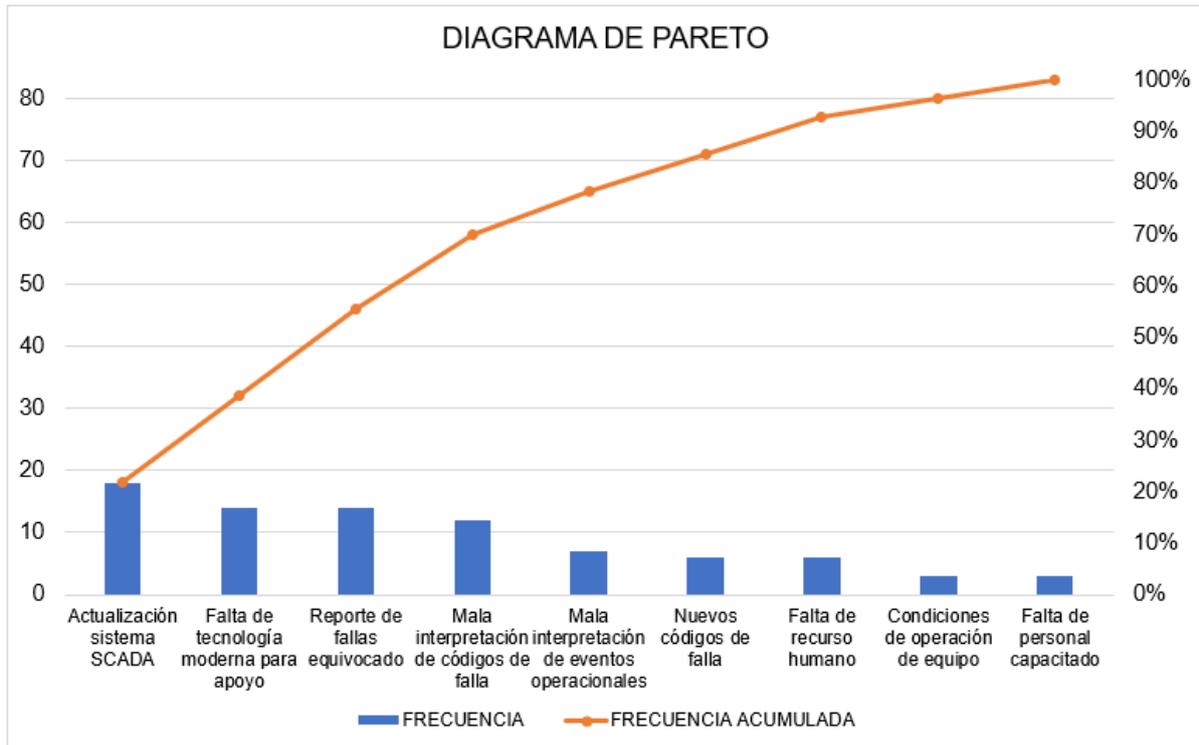
Gracias a los intervalos de frecuencia que nos muestra la tabla podemos ver que las causas que nos lleva a las demoras en los diagnósticos de mantenimiento correctivo se empiezan a acumular y generan el 55% de la frecuencia acumulada las tres primeras causas que son las más altas, como la actualización del sistema SCADA, la falta de tecnología moderna para apoyo y el reporte de fallas equivocado, dentro de falta de tecnología moderna para apoyo tenemos como sub causas diagnósticos a destiempo, distancias largas para diagnóstico y falta de un sistema remoto para analizar las fallas.





Imagen 12

Causas de Demoras en Mantenimientos Correctivos



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

De acuerdo al diagrama de Pareto podemos determinar que las tres primeras causas son las más importantes para poder disminuir los tiempos de diagnóstico de mantenimiento correctivo; como primer punto tenemos actualización del sistema SCADA, esto se da por la nueva tecnología que traen las nuevas palas en su sistema de control, con nuevos eventos operacionales y mayor supervisión en el cuidado del equipo, generando malos diagnósticos; como segundo punto esta la falta de tecnología moderna para apoyo teniendo como sub causas diagnósticos a destiempo, distancias largas para diagnóstico y falta de un sistema remoto para analizar las fallas, si resolvemos las causas elevadas podremos disminuir los tiempos de diagnósticos de mantenimientos correctivos.

Para este trabajo de investigación se sacó un análisis de 5 equipos de los 13 que existen en las operaciones de Cerro Verde, para poder entender los tiempos generados por estas paradas de malos diagnósticos generando un reseteo del equipo.





Tabla 4
Tiempos Paradas Planificadas y no Planificadas

TIEMPO DE PARADAS PLANIFICADAS Y NO PLANIFICADAS EN HORAS						
Etiquetas de fila	PALA 21	PALA 20	PALA 19	PALA 18	PALA 17	TOTAL
ENERO	68	78.97	113.1	124.7	94.82	781.91
Planned Equipment Loss	15	13.06	71.2	76.8	59.57	464.43
Unplanned Equipment Loss	65.71	65.91	41.9	47.9	35.25	317.48
FEBRERO	94.18	67.58	25.83	79.9	54.33	462.01
Planned Equipment Loss	63.2	42.42	10.96	47.91	43.41	348.09
Unplanned Equipment Loss	30.98	25.16	14.87	31.99	10.92	113.92
MARZO	25.8	90.62	107.44	122.11	53.53	451.65
Planned Equipment Loss	10.13	51.16	57.03	74.01	17.59	209.92
Unplanned Equipment Loss	15.67	39.46	50.41	48.1	35.94	241.73
ABRIL	103.97	89.07	110.92	71.29	96.42	513.76
Planned Equipment Loss	55.1	65.32	69.2	29.53	61.7	322.94
Unplanned Equipment Loss	48.87	23.75	41.72	41.76	34.72	190.82
MAYO	75.4	99.44	24.56	83.19	85.42	513.94
Planned Equipment Loss	17.67	74.3	6.08	52.81	71.13	367.92
Unplanned Equipment Loss	57.73	25.14	18.48	30.38	14.29	146.02
JUNIO	71.6	25.36	104.31	112.1	24.06	438.78
Planned Equipment Loss	38.9	11.43	17.33	69.8	13.12	201.23
Unplanned Equipment Loss	32.7	13.93	86.98	42.3	10.94	237.55
JULIO	44.87	87.35	125.73	116.94	56.34	514.38
Planned Equipment Loss	12.21	55.51	64.63	71.5	45.73	309.97
Unplanned Equipment Loss	32.66	31.84	61.1	45.44	10.61	204.41
AGOSTO	97.44	90.09	42.25	48.15	59.44	368.42
Planned Equipment Loss	73.6	74.51	5.44	15.14	42.69	242.43
Unplanned Equipment Loss	23.84	15.58	36.81	33.01	16.75	125.99
SEPTIEMBRE	69.17	29.84	122.61	26.43	55.65	303.7
Planned Equipment Loss	63.96	9.67	92.47	3.82	44.27	214.19
Unplanned Equipment Loss	5.21	20.17	30.14	22.61	11.38	89.51
OCTUBRE	26.87	104.7	27.79	88.05	22.06	323.85
Planned Equipment Loss	1.8	68.8	6.54	60.71	6.35	223.36
Unplanned Equipment Loss	25.07	35.9	21.25	27.34	15.71	100.49
NOVIEMBRE	85.83	63.11	56.51	39.24	96.83	341.52
Planned Equipment Loss	62.53	8.25	50.93	16.39	70.68	208.78
Unplanned Equipment Loss	23.3	54.86	5.58	22.85	26.15	132.74
DICIEMBRE	69.7	26.58	54.72	40.33	58.65	88.19
Planned Equipment Loss	48.6	18.8	45.2	1.07	55.2	25.45
Unplanned Equipment Loss	21.1	7.78	9.52	39.26	3.45	62.74
TOTAL	975.57	1053.02	1066.94	1304.04	702.54	5102.11

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)





En la tabla número 4 de horas de paradas programadas y no programadas se muestra el resultado por mes de las palas eléctricas desde la 17 hasta la 21, donde se muestra la cantidad de horas por paradas de mantenimiento preventivo y la cantidad de horas por paradas de mantenimiento correctivo por cada mes en el año 2021, notándose un número elevado de horas por paradas correctivas.

Tabla 5
Disponibilidad Mensual de Palas Eléctricas Año 2021

DISPONIBILIDAD MENSUAL 2021					
Mes	Pala 21	Pala 20	Pala 19	Pala 18	Pala 17
Enero	89.21	87.47	82.05	80.21	84.95
Febrero	85.05	89.27	95.90	87.32	91.38
Marzo	95.90	85.62	82.95	80.62	91.50
Abril	83.50	85.86	82.39	88.68	84.70
Mayo	88.03	84.22	96.10	86.80	86.44
Junio	88.63	95.97	83.44	82.21	96.18
Julio	92.88	86.13	80.04	81.44	91.06
Agosto	84.53	85.70	93.29	92.36	90.57
Setiembre	89.02	95.26	80.54	95.80	91.17
Octubre	95.73	83.38	95.59	86.02	96.50
Noviembre	86.38	89.98	91.03	93.77	84.63
Diciembre	88.94	95.78	91.31	93.60	90.69

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

En la tabla 5 se puede observar la disponibilidad de las palas eléctricas en el año 2021, la perdida de disponibilidad se da por las diferentes fallas o eventos ocurridos en el mes.





Tabla 6

Fallas por Reseteo, Número de Eventos y Duración

TABLA FALLAS POR RESETEO ANUAL		
ETIQUETAS DE FILA	SUMA DURACIÓN HORAS	NÚMERO DE EVENTOS
Pala 21	186.25	173
Reseteos MP	3.75	23
Reseteos Mantenimiento correctivo	182.5	150
Pala 20	224.66	198
Reseteos MP	5.66	18
Reseteos Mantenimiento correctivo	219	180
Pala 19	161.5	149
Reseteos MP	3.33	19
Reseteos Mantenimiento correctivo	158.17	130
Pala 18	162.36	146
Reseteos MP	4.19	16
Reseteos Mantenimiento correctivo	158.17	130
Pala 17	176.37	156
Reseteos MP	6.04	16
Reseteos Mantenimiento correctivo	170.33	140
TOTAL	911.14	822

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

En la tabla número 6 se puede observar los números de eventos de reseteo en mantenimiento preventivo y en mantenimiento correctivo, siendo para nosotros importante los de mantenimiento correctivo, en esta tabla se puede observar también la duración que tuvieron estos reseteos en todo el año 2021, para el





proyecto en estudio se plantea optimizar estos tiempos de reseteo de las paradas correctivas.

Tabla 7
Disponibilidad Anual 2021

DISPONIBILIDAD ANUAL	
Pala 21	87.10
Pala 20	86.07
Pala 19	85.89
Pala 18	82.75
Pala 17	90.71

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

En la tabla 7 se puede observar la disponibilidad anual de las palas eléctricas que se tomaron como muestra de estudio para este trabajo, aquí se puede observar la disponibilidad contando con los tiempos de mantenimientos correctivos y teniendo en cuenta las horas de falla por reseteo.

2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Las paradas intempestivas en el año 2021 genero el 8% de paradas por códigos de falla equivocadas, considerando 21 horas de trabajo al día por cada equipo, estas generaron entrar en mantenimientos correctivos sin justificación las cuales arrastraron perdidas de producción que por el cálculo hecho en este trabajo se perdió 60 minutos por equipo perdiendo 9000 toneladas sin mover, si contamos a las 13 palas serian 117000 toneladas perdidas en producción llevando a pérdidas económicas, horas hombre, paradas de camiones y equipo auxiliar que trabajan con cada pala eléctrica viéndose en la disponibilidad del equipo, todo esto por malos diagnósticos del personal técnico y malos reportes de falla de los operadores ya que desconocen los códigos de fallas y personal técnico es deficiente en el conocimiento del sistema de los equipos, para facilitar los diagnósticos de las averías, el equipo cuenta con un sistema SCADA el cual da





herramientas de diagnóstico y herramientas de supervisión en tiempo real, el problema es cuando el equipo está en plena operación no se tiene acceso fácil a este sistema, ya que no es factible que un técnico suba al equipo en operación ya que se pone en riesgo su integridad y la disponibilidad del equipo al hacerlo detener para subir y bajar del equipo de forma segura.

Si se contase con un sistema remoto que permita visualizar en cualquier momento el estado del equipo y supervisar de manera fácil sin comprometer la disponibilidad del equipo, los tiempos de parada y los diagnósticos del equipo serían de una manera más precisa ya que cualquier persona desde cualquier lugar podría tener acceso a las fallas y a la supervisión del sistema, trabajando previamente en una capacitación del personal, capacitación de los operadores, haciéndoles entender que muchos eventos que el equipo nos manda es para proteger la integridad del equipo y simplemente es corregir la manera de operar, todo esto nos permitiría optimizar los tiempos de parada y nos permitiría supervisar cualquier evento fortuito que se estuviera presentando en el equipo.

2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué forma se podrá implementar un sistema remoto para optimizar el diagnóstico en el mantenimiento correctivo de equipos de carguío en la sociedad minera Cerro Verde?

2.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.4.1. Objetivo general

Implementar un sistema remoto para optimizar el diagnóstico en el mantenimiento correctivo de equipos de carguío en la sociedad minera Cerro Verde.

2.4.2. Objetivos específicos

Los objetivos del presente trabajo son:

- Realizar un diagnóstico situacional en el área de mantenimiento eléctrico mina aplicada en los equipos de carguío.





- Identificar los tiempos de paradas intempestivas de la pala eléctrica por malos diagnósticos de fallas en los equipos de carguío.
- Diseñar el sistema de control remoto para optimizar el diagnóstico de la lectura de fallas del sistema SCADA en el equipo de carguío.
- Definir cursos de capacitación al personal para mejorar el diagnóstico de fallas y usos del sistema SCADA en los equipos de carguío.





CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO

Actualmente las industrias tienen como propósito automatizar todos sus procesos para así generar mayor productividad con menos recurso humano, los procesos de automatización viene de la mano con los sistema SCADA (Supervisory Control and Data Adquisition) los cuales son importantes para la supervisión control y adquisición de datos el cual permite a la persona interactuar con todo el sistema del equipo o de la planta disminuyendo los riesgos que impliquen estar presentes, los softwares que hoy en día se usan para la implementación de estos sistemas han causado un gran cambio en la industria, ya que nos permite mediante gráficos tener conocimiento del proceso en una pantalla, permitiéndonos tener alarmas de todo nivel en tiempo real, el cual permite dar un diagnóstico real y preciso siempre y cuando el personal que interactúe con este sistema tenga conocimiento de los códigos programados y un completo conocimiento del funcionamiento del equipo o proceso.

Sociedad minera Cerro Verde dentro de sus proyectos de ampliación y mejoras de equipos de producción, siempre considera la tecnología que facilite y acelere los procesos de producción, siendo uno de estos los equipos de carguío en gran minería, el presente trabajo de suficiencia profesional aspira mejorar más aún estas innovaciones de la tecnología llevando a la mejora de los diagnósticos de los equipos salvaguardando la integridad del personal en campo.

3.1.1. Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se toma en cuenta los siguientes antecedentes.

Antecedente Local

Como menciona (Sánchez Tapia, 2020), en su Tesis de Ingeniería: "Diseño de un sistema SCADA con control remoto, usando un





controlador lógico programable (PLC), un sistema CCTV, un servidor VNC y el software Team Viewer, aplicado a la seguridad residencial”., donde indica:

“El control a distancia del sistema de Seguridad Residencial, será por medio de los softwares Team Viewer y TightVNC, cuyo beneficio es el acceso remoto al Sistema de seguridad desde cualquier lugar”. (Sánchez Tapia, 2020)

De acuerdo a lo que menciona el autor precedente, cabe indicar que hoy en día mediante el aumento del uso del internet y las facilidades que puede brindar no solo en cuestiones de navegación o búsqueda de información, sino en la utilidad de poder manejar remotamente cualquier sistema deseado, existen softwares especializados que facilitan estas mejoras de procesos ya que gracias a su facilidad de hacer interactuar computadoras a distancias inimaginables sin necesidad de estar presentes en el lugar, permiten el monitoreo y toma de control a distancia, pudiendo colocar límites a la red de intranet por temas de seguridad y llevarlo a la nube, ampliando así su funcionabilidad del sistema deseado; cabe indicar que la aplicación de estos sistemas es muy amplio solo se limita a temas de viabilidad y costos de instalación.

Como menciona (Choque Valdivia, 2020), en su tesis de ingeniería: “Propuesta de mejora para un sistema remoto de control, monitoreo y supervisión de los principales equipos de producción de una planta de refinería como medida preventiva frente al COVID-19, Arequipa, 2020”., donde indica:

De acuerdo con lo expuesto se propone una mejora para un sistema remoto de control, monitoreo y supervisión las cuales ayudarán a la detección de fallas de las máquinas, teniendo en cuenta que la empresa ya cuenta con la licencia del paquete de software Wonderware Intouch pero no se está utilizando adecuadamente. A lo cual se sumaría





la programación de SCADA, la cual ayudaría a detectar las fallas de sensores eléctricos de las máquinas de manera automatizada con lo que se evitará la aglomeración de trabajadores.

De acuerdo a lo que menciona el autor precedente, cabe indicar que muchas veces en nuestros procesos contamos con todo un sistema de monitoreo con sensores y sistemas SCADA ya planteados e instalados, esta es en el personal aprovechar al máximo los recursos que ya se tienen en los procesos industriales, todo esto va de la mano con el apoyo y autorización de las áreas y supervisiones involucradas.

Antecedente Nacional

Como menciona (Cruzado Paredes, 2019), en su Tesis de Maestría: “Implementación de un sistema SCADA en la nube para mejorar el servicio de monitoreo y control remoto de una planta de tratamiento agua potable en Lima Norte 2015 – 2018”., donde indica:

La implementación del Sistema SCADA bajo el modelo cloud computing incidió positivamente en el monitoreo y control del proceso de captación, producción y distribución de los reservorios en la PTAP Huachipa. Así mismo con el modelo de negocio la nube se podrá disponer, el acceso inmediato desde cualquier lugar permitiendo la ubicuidad para la toma de decisiones.

Se Determinó el grado de eficiencia en el servicio de monitoreo y control de manera continua, generando valor para la empresa, reduciendo tiempos, costos y mejorando la calidad del producto paulatinamente; lo cual permite mejoras a un bajo riesgo en la planta de tratamiento de agua potable.





De acuerdo a lo que menciona el autor precedente, cabe indicar que un sistema SCADA es parte de la nueva era de la tecnología y viene de la mano con todo sistema de automatización industrial, permitiendo una interacción hombre máquina hacia el proceso automatizado, teniendo interacción inmediata desde cualquier punto al cual llegue nuestra red, lo citado en el modelo cloud computing que permite tener acceso a un sistema desde cualquier punto que tenga internet gracias a las bases de datos que permite hoy en día tener la nube, para nuestro caso solo será en nuestra red interna pero dará los beneficios mencionados en la cita anterior, que es el acceso inmediato desde cualquier punto de la operación, permitiendo el rápido diagnóstico de los equipos, descartando fácilmente cualquier evento de falla equivocado; como cita el autor este tipo de sistema tiene un alto grado de eficiencia por la facilidad y rapidez para el monitoreo continuo obteniendo la empresa un valor adicional en los sistemas de los equipos mejorando su producción paulatinamente con un bajo riesgo en la integridad de los trabajadores por la disminución de la exposición al peligro.

Como menciona (Antinori Regalado, 2018), en su tesis de ingeniería: “Diseño de un sistema SCADA a través de una red Wireless para monitoreo y control de un sistema de paneles de 04 ventiladores principales de 100,000cfm de la minera bateas”., donde indica:

El sistema SCADA permitirá monitorear y controlar la concentración de gases dentro de la mina para generar un ambiente de trabajo que brinde seguridad y tranquilidad a los mineros. Además, empleará la tecnología Wireless con el propósito de facilitar a los operarios el monitoreo local de acceso complejo a un monitoreo centralizado con múltiples facilidades, teniendo en cuenta las inclemencias geográficas.

De acuerdo a lo que menciona el autor precedente, cabe indicar que llevar a la mano un sistema SCADA mediante sistemas Wireless





permiten facilitar el acceso a este para poder tener el control total de estos sistemas, mejorando la seguridad e integridad de cada trabajador involucrado, a la vez controlar los sistemas complejos desde un sitio mas seguro.

Antecedente Internacional

Como menciona (Varas Soler, 2019), en su Memoria de Ingeniería: “Propuesta de rediseño en el proceso de recopilación de datos para el análisis de confiabilidad en interruptores de potencia de gas SF6”., donde indica:

La monitorización efectiva es necesaria para proporcionar evaluaciones de seguimiento de las condiciones continuas, para identificar los problemas y, en algunos casos, predecir los fallos y problemas antes de que se vuelvan críticos. Esto se utilizaría para complementar y reducir costos por monitoreo, incluida la mano de obra por viajes, gastos de vehículo, inspección manual, tiempo y gastos por reensamblar; inspección visual y el tiempo de presentación de informes.

De acuerdo a lo que menciona el autor precedente, cabe indicar que mantener un proceso monitoreado en tiempo real permite tener evaluaciones con un constante seguimiento de las condiciones de operación continua, así poder identificar los problemas o fallas en el equipo incluso llevándonos en algunas ocasiones a predecir eventos críticos, esto dependerá de la experiencia del personal involucrado en el diagnóstico del equipo; así como menciona el autor precedente tener una sistema monitoreado a distancia incluirán ahorros a la empresa en transporte, personal de inspección y en algunos casos gastos por reemplazo de componentes, permitiendo así tener un sistema más confiable.





3.1.2. Bases Teóricas

Palas P&H

Como se menciona en los manuales digitales de Cerro Verde (Cerro Verde, 2022), nos indica sobre el equipo lo siguiente:

Desde un comienzo en la minería, el trabajo de excavación de materiales útiles de la tierra ha sido considerada una de las ocupaciones más peligrosas del mundo; puesto que las palas son complejas, están compuestas por enormes equipos y tienen la habilidad de levantar y mover cargas pesadas, también tienen el potencial de ocasionar accidentes, si no se cumple con las prácticas de operación segura; cuenta con sistema Centurión que es un sistema supervisor de control y adquisición de datos, es un sistema robusto y expandible, se ofrece como un sistema nuevo en las palas como así también un mejoramiento para modelos antiguos; el sistema de Control Centurión (el cerebro) - proporciona control coordinado de movimiento, el Centurión es ojos, oídos, nervios; el sistema de información (la voz) proporciona retroalimentación, capaz de realizar operación en tiempo-real utilizando una capacidad “multi - funcional” para una secuencia más rápida y eficiente.

De acuerdo a lo que menciona el autor precedente en el manual digital, cabe indicar que una pala eléctrica P&H 4100XPC es un equipo de carguío en minas de tajo abierto, permite mover toneladas de material a gran escala, su altura al punto más alto del equipo es de 21 metros y su largo con todo el cucharón extendido es de 32 metros, su capacidad de carga es de 104 toneladas por cucharón, pudiendo alimentar a camiones mineros de hasta 400 toneladas, por su gran tamaño y capacidad de carga sus peligros y riesgos asociados a él son muy altos, por ello se





debe cumplir con todas las especificaciones y recomendaciones que facilita fabrica, de esa manera se cuida la integridad de las personas que trabajan en él y alrededor de estos equipos. Una pala eléctrica debe trabajar de la mano con dos perforadoras de producción las cuales se encargan de remover los frentes de trabajo mediante voladuras, cada frente de trabajo de una pala eléctrica puede llegar a una altura de 19 metros para que el equipo trabaje al 100% de su capacidad de carga, a la vez estos equipos siempre deben tener camiones a su disposición para que su trabajo no tenga tiempos de equipo parado por falta de camiones, así se aprovecha al máximo la producción de estos equipos, es por ello que dependiendo a la ubicación del equipo y a donde este alimentando puede ser botaderos o a la planta industrial, mínimo estas palas trabajan con 14 camiones mineros; estas palas eléctricas por su gran tamaño no son capaces de corregir sus accesos por si solas, necesitan de equipos auxiliares que aplanen las vías y limpien las rocas que por el mismo trabajo caen en todo su alrededor, malogrando los neumáticos de los camiones y dificultando la estabilidad de la misma pala, para ello cuenta con una motoniveladora, un tractor de ruedas, y un tractor de orugas que garantizan la uniformidad de la zona de trabajo de la pala eléctrica, es por ello la importancia de la disponibilidad de la palas ya que si una pala eléctrica se detiene por fallas intempestivas, afecta directamente a 14 camiones, dos perforadoras y tres equipos auxiliares, generándonos pérdidas de producción y horas máquinas perdidas.

Sistema SCADA

Un sistema SCADA permite la interacción hombre máquina en una determinada automatización, dependiendo de las características del sistema a automatizar y las bondades que se quiera dar a determinado sistema se dan características especiales al SCADA, como llevar información de un PLC hacia una PC tomando como referencias la sensórica y la actórica que se haya implantado en la automatización, dando a estos sensores determinadas condiciones o señales de





precaución para el cuidado de una determinada automatización; otras ventajas de los SCADA son más específicas y de mayor cuidado ya que permiten controlar determinados procesos, siendo importante y primordial que las personas que tengan acceso a estos sistemas tengan el conocimiento necesario y sepan identificar los riesgos a los cuales pueden estar implicados ya que en sus manos se encuentra la determinación de realizar cualquier acto con un SCADA; mediante la implementación de estos sistemas de automatización permite tener historial de alarmas, para que en los mantenimientos programados se pueda realizar inspecciones y hasta reparaciones en puntos específicos del equipo automatizado, a la vez permitiendo realizar comandos desde estaciones remotas. El manejo y programación de los sistemas SCADA son mediante softwares especializados, para dicha función los cuales permiten disfrutar de todas sus bondades mediante pantallas interactivas que facilitan el reconocimiento de cualquier sistema automatizado, se debe tener en cuenta que todas estas programaciones y diseños de pantalla que se hacen en los SCADA lo realizan terceras personas o los dueños de las marcas contratando personal especializado para estos trabajos, es responsabilidad de la empresa que adquirió el equipo con sistemas SCADA dar la capacitación necesaria en todos los niveles necesarios para la correcta comprensión de las distintas pantallas y los distintos códigos o eventos que permita visualizar el sistema, con el fin de tener una buena comprensión y saber distinguir que quiere decir el sistema para que el personal de mantenimiento a cargo sepa prevenir futuras fallas o sepa realizar un buen diagnóstico de una falla intempestiva, si los eventos o códigos de falla son mal direccionados también el personal de mantenimientos no sabrá identificar el problema real.

Industria 4.0

La evolución de la industria se ha dado paulatinamente en el tiempo permitiendo a las industrias mejorar sus tiempos de producción y calidad de sus productos gracias a la evolución que se fue dando en estos





campos, la última revolución industrial se dio con la automatización de los procesos y la tecnología digital, desde el 2011 se está entrando en la tecnología 4.0 la cual trata de integrar todos los procesos en la nube y utilizar la computación virtual, es ahí la importancia de integrar los sistemas a la virtualidad y poder generar sistemas remotos donde se pueda tener acceso en tiempo real y poder verificar cualquier falencia en el sistema implementado.

3.1.3. Bases Normativas

La empresa minera cuenta con un sistema de gestión integrado, a su vez con un reglamento interno de Salud y Seguridad Ocupacional, donde se encuentra la Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Título IV Sistema de Gestión de la seguridad y salud en el trabajo Capítulo I, Artículo 21 menciona de forma puntual respecto a la seguridad: “a) Eliminación de los peligros y riesgos. Se debe combatir y controlar los riesgos en su origen, en el medio de transmisión y en el trabajador, privilegiando el control colectivo al individual”. (Cerro Verde, 2022)

De acuerdo a lo que menciona la Ley 29783, cabe indicar que las normas de seguridad y salud en el trabajo permiten establecer dentro de la empresa procedimientos con requisitos mínimos para que los trabajos realizados en toda la operación sean de manera segura y con los mínimos requisitos de seguridad para la integridad de los trabajadores, permitiendo que todas las actividades se desarrollen sin afectar la integridad de los trabajadores y tratar de minimizar cualquier riesgo de daño hacia los trabajadores, con implementación de este proyecto se cumple con lo antes mencionado y se elimina la interacción con el equipos en un porcentaje elevado por paradas intempestivas.

3.2. DESARROLLO DEL PROYECTO

De acuerdo al análisis del problema en sociedad minera Cerro Verde se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo el cual permite la mantenibilidad de





los equipos de carguío y perforación; el crecimiento de la empresa y las nuevas tecnologías de los equipos llevaron a tener altos índices de paradas intempestivas, lo cual lleva a realizar mantenimientos correctivos constantes, el personal de campo se encarga del diagnóstico y reparación de los equipos en plena operación, los cuales tienen un método de diagnóstico y procedimientos establecidos para estos trabajos. Para el desarrollo de este proyecto se utilizará el método PHVA cumpliendo con los objetivos específicos propuestos, los cuales permitirán analizar y proponer la mejora a los tiempos de paradas intempestivas, llevando a un rápido diagnóstico y entrega de equipos operativos.

3.2.1. Planear

Diagnóstico Situacional en el área de mantenimiento eléctrico mina

En sociedad minera Cerro Verde se cuenta con el área de mantenimiento eléctrico mina que desarrolla labores de mantenibilidad en equipos de perforación y equipos de carguío como son palas eléctricas P&H2800XPB, P&H4100XP DC, P&H4100XP AC y Palas hidráulicas, con el crecimiento de la empresa se incrementó la flota de palas, estos equipos ingresaron con nueva tecnología haciendo que las paradas intempestivas aumenten y los diagnóstico de falla sean complicados por los nuevos códigos de falla y la falta de experiencia para poder identificar de manera correcta cada código, esto afecta de manera directa a la operación ya que por la parada de una pala eléctrica se paran 14 camiones de acarreo, tres equipos auxiliares, dos perforadoras y considerable pérdida de producción al no mover el material que se establece para cumplir con las metas de producción establecidos trimestralmente.

A continuación, se pasará a realizar un análisis de acuerdo con las paradas de reseteo que se pudo tener en el año 2021, identificándolas por los tipos de falla que se detectaron en ese tiempo.





Imagen 13

Eventos de Paradas Eléctricas Pala 20

EVENTOS DE PARADA PALAS ELÉCTRICAS	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA
Falla inclinación	33	17%
Boom Jack Etapa 2	29	31%
Boom Jack Etapa 1	27	45%
ABSS Desactivado	21	56%
ABSS Desactivado por Límites de Empuje	18	65%
ABSS Fuera De Rango	16	73%
Auto retracción ABBS	13	79%
Falla de Aplicación de Frenos	11	85%
Deslizador de Resolver Lineal ABSS Referencia Paro	11	90%
Sobre corriente Armadura - Diverter	1	91%
Falla Precarga	1	91%
Batería Baja	1	92%
Falla Presión Aire Principal	1	92%
Falla Sistema Diverter	1	93%
Falla Pérdida de Presión Aire Frenos	1	93%
Falla Bomba Lubricación	1	94%
Se Detecta Holgura del Cable de Levante	1	94%
Falla Sistema de Grasa Superior	1	95%
Disparo del Disyuntor del Circuito de 480 Volts de Aux	1	95%
Falla Estado de Interruptor de Límite de Freno	1	96%
Falla a tierra	1	96%
Falla Disyuntor Campo	1	97%
Falla Sistema Lubricación Engranaje Abierto	1	97%
Sobre voltaje CC Armadura	1	98%
Sobre velocidad del motor	1	98%
Feedback Contactor Principal	1	99%
Falla Motor para Abrir Balde Bloqueado	1	99%
Falla de Bajo Voltaje	1	100%
	198	

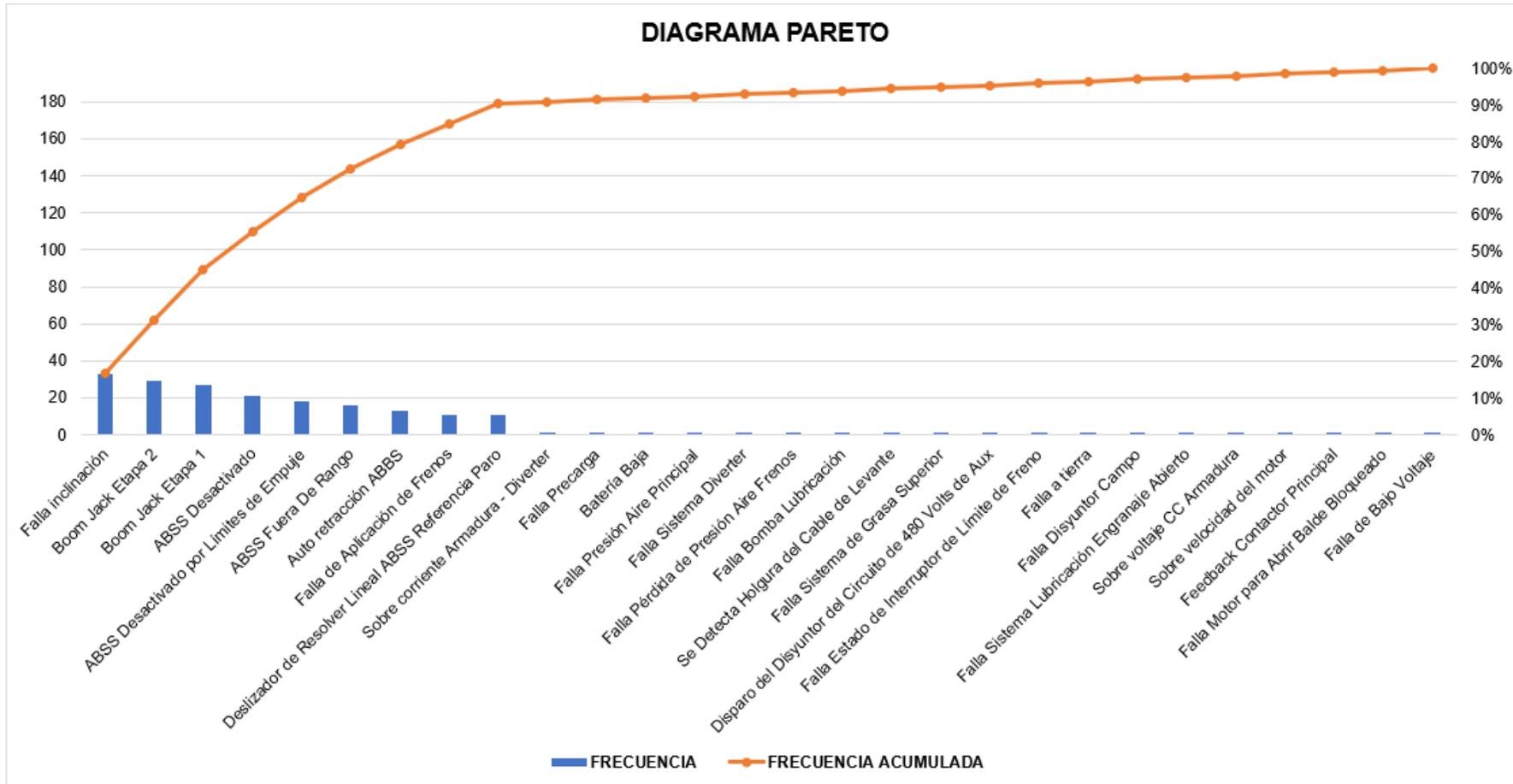
Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

En la imagen 13 se puede observar un filtro de los eventos más recurrentes que generaron paradas no programadas en la pala eléctrica #20 siendo los 9 primeros eventos paradas que se podrían resetear desde un sistema remoto analizando las condiciones de operación y valores actuales del equipo.





Imagen 14
Eventos de Palas Eléctricas



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)



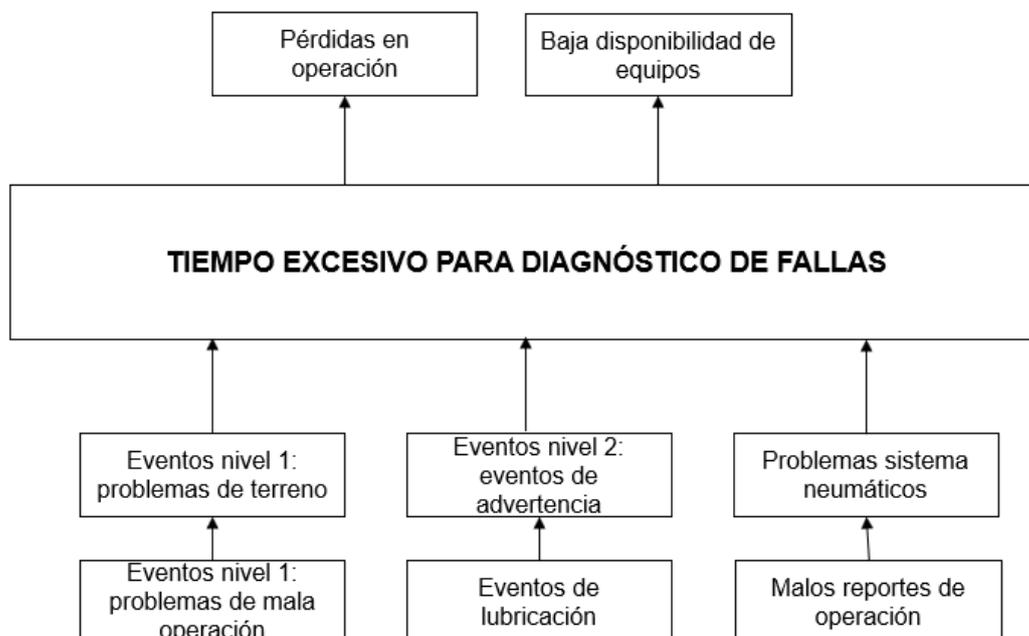


Según el diagrama de Pareto podemos observar que la mayor cantidad de eventos que se produjo en la pala 20 fueron operacionales y por condiciones de terreno, generándonos estos el mayor tiempo de paradas por reseteo, estos eventos operacionales y de nivel 1, son para que el equipo continúe trabajando, tomando conciencia que el equipo está siendo impactado contra el cerro y el piso está desnivelado, estas paradas representan el 85% de las paradas intempestivas por reseteo generando retraso de producción y horas máquina; el diagrama de Pareto ayuda a visualizar el acumulativo de los principales eventos repetitivos que tuvo la pala eléctrica monitoreada en este lapso de tiempo. Para efectos de optimizar el tiempo de diagnóstico de las paradas intempestivas se realizará el estudio de implementación de un sistema remoto para diagnosticar más rápido y poder monitorear en tiempo real el estado de una pala eléctrica.

En la siguiente imagen se muestra los problemas que determinan la demora de diagnóstico de fallas en un equipo de carguío.

Imagen 15

Árbol de Problemas Tiempo Excesivo Para Diagnóstico de Fallas



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





Identificación de tiempos de paradas intempestivas

Con el fin de poder analizar las causas de los tiempos largos de las paradas intempestivas, se realizó una lluvia de ideas entrevistando a personal de taller eléctrico mina, personal de campo y por la experiencia del investigador para poder determinar la posible causa raíz del problema.





Imagen 16

Tiempos Largos por Mantenimiento Correctivo



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





De acuerdo con el análisis de causa efecto se puede categorizar las causas que generan tiempos largos por mantenimiento correctivo analizándolas por las frecuencias de suceso.

Imagen 17

Tabla de Causa y Efecto

	CAUSA	SUBCAUSA	VALOR	TOTAL	
MÁQUINA	Sistema SCADA	Inaccesible	4	22	
	Nueva tecnología	No tiene un sistema remoto	4		
		Desviación del personal	3		
	Nuevos códigos de falla	Equipos recientes	4		
		Demora en el reconocimiento	3		
		Desviación en el diagnóstico	4		
ENTORNO	Distancias largas	Demora en el traslado	2	10	
	Difícil acceso	Operación muy variable	1		
		Demora en respuesta	2		
		frentes	1		
	Tráfico en vías	Dificulta llegada a equipos	2		
		acarreo	2		
PERSONAL	Falta de capacitación	Desconocimiento del sistema	3	10	
	Personal nuevo	Son muy nuevos en la empresa	1		
		Requiere entrenamiento	2		
		Personal antiguo	SCADA		3
		Habilidad de aprendizaje	1		
MATERIAL	Vehículos de transporte	Límites de velocidad	1	8	
	Herramientas inadecuadas	Falta de unidades	2		
		Desconocimiento del problema	3		
		Falta de experiencia	2		
		MÉTODO	Diagnóstico presencial		Sistema SCADA inaccesible
Delimitación de área	Requiere llenar documentación		1		
	Falta de acceso remoto		4		
	Genera tiempo solicitar equipo		1		
	Frecuencias saturadas para pedir equipos		2		

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)¹

En la tabla anterior se muestra las categorías y las causas de cada una de ellas, este resultado se obtuvo de la experiencia del investigador y la entrevista al personal de mantenimiento eléctrico mina, a cada sub

¹ El valor asignado en la tabla 5 de causa y efecto, es tomado bajo el criterio de 1 al 5, siendo 1 el menor grado de afectación y 5 el máximo grado de afectación.





causa se le asigna un valor de criticidad entre 1 y 5 siendo 1 menos crítico y 5 más crítico, estos datos ayudarán a generar el diagrama de Pareto que identificará las principales causas que generan tiempos largos por mantenimiento correctivo.

Tabla 8
Frecuencia Acumulada

CATEGORÍA	VALOR INCIDENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA
Máquina	22	35%
Método	12	55%
Personal	10	71%
Entorno	10	87%
Material	8	100%

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

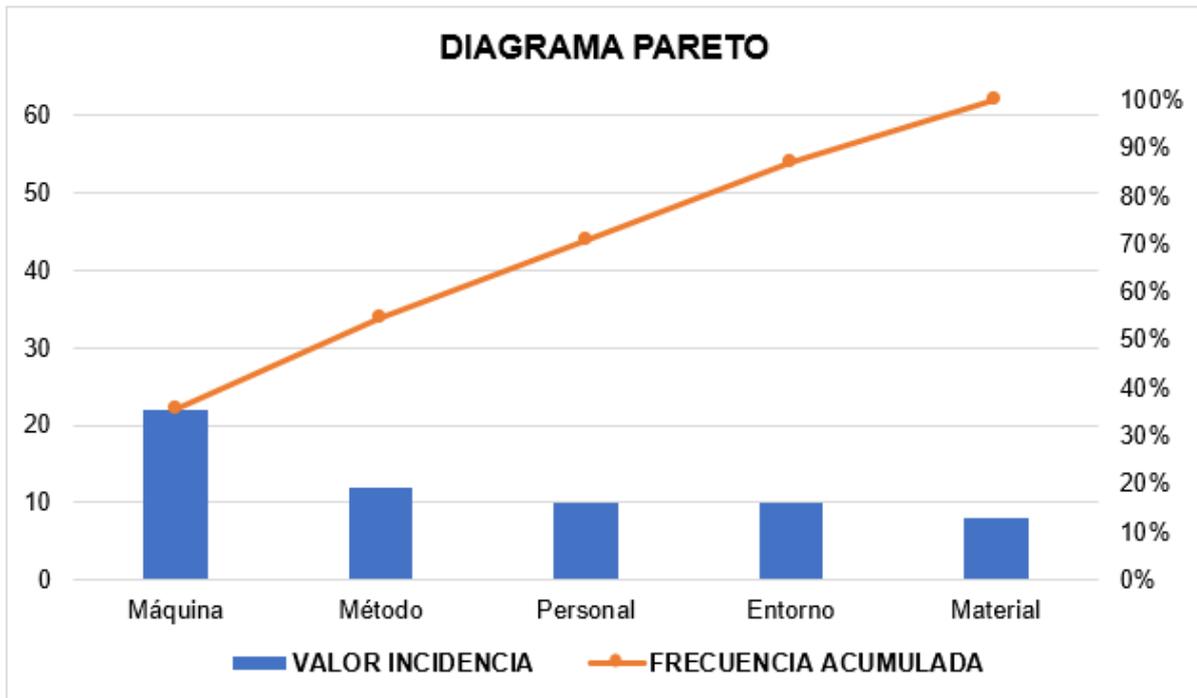
Gracias a los intervalos de frecuencia que nos muestra la tabla podemos ver que las causas que nos lleva a tiempos largos por mantenimiento correctivo son la categoría maquinas donde se empiezan a acumular y generan el 35% del valor teniendo como causas el sistema SCADA, nueva tecnología y nuevos códigos de falla, siendo más relevante el no acceso al sistema SCADA.





Imagen 18

Diagrama de Pareto por Categorías



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

De acuerdo con el diagrama de Pareto se puede observar que la causa raíz del problema, se encuentran en la categoría máquina, esta categoría tiene como causas el sistema SCADA, la nueva tecnología y los nuevos códigos de falla, siendo la causa raíz de este problema el no contar con el sistema SCADA del mismo equipo, ya que mediante este sistema el personal técnico puede visualizar el evento ocurrido e identificarlo de una manera correcta.

Así mismo no se debe dejar de lado estas causas como la mala identificación del evento por falta de conocimiento del técnico, las largas distancias de recorrido con las unidades de transporte para abordar el equipo, el tránsito en las vías, cumplir los procedimientos ya establecidos para la toma de equipos por parte de mantenimiento en las operaciones de mina, porque estas causas también generan demoras para poder diagnosticar de manera correcta la falla y por lo tanto incrementan los tiempos de los mantenimientos correctivos.





Flujograma de los procesos

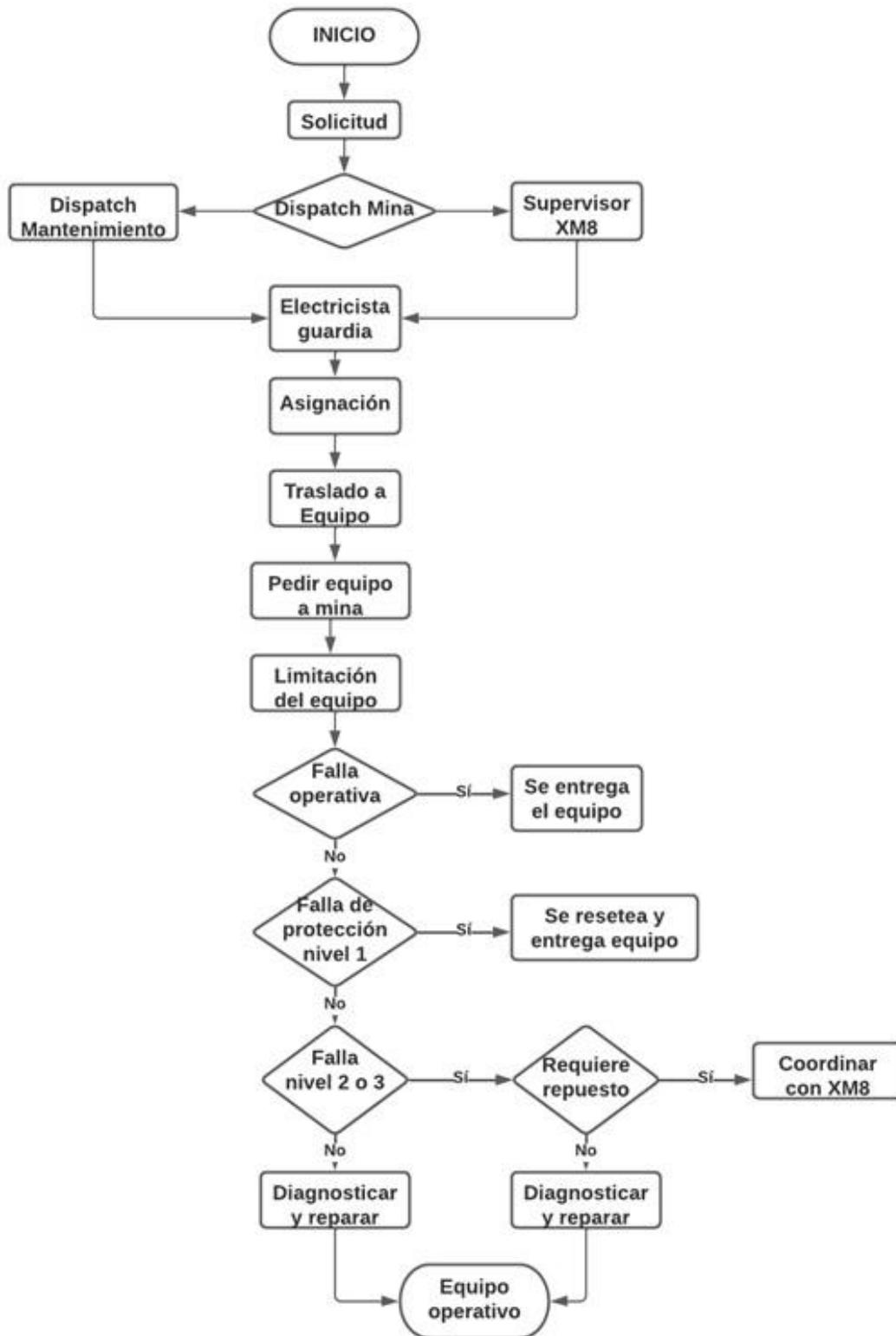
En el siguiente diagrama de flujo se muestra cómo se realiza una intervención por parada imprevista, desde que se genera el problema hasta que el técnico llega al equipo y lo interviene.





Imagen 19

Diagrama de Flujo del Área a Trabajar



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





Explicación del proceso de atención en campo

Cuando un operador de pala eléctrica reporta una falla en el equipo, la información llega primeramente a despacho mina, este crea un código de falla en el sistema que maneja despacho, seguidamente reporta este evento a despacho mantenimiento o supervisor de campo (XM8), con el código de falla el supervisor de campo reporta este evento al electricista de guardia, la atención dependerá de la disponibilidad de técnico electricista de campo, si está atendiendo otro equipo con prioridad más alta solicita apoyo al taller eléctrico para que manden a otro grupo, dependerá también de la ubicación del equipo ya que por la dimensiones de los tajos el tiempo promedio de traslado será de aproximadamente 45 minutos donde se considera el tráfico y condiciones de la vía, una vez llegado a los equipos personal técnico debe solicitar el equipo a operaciones mina para poder abordarlo y delimitar el área indicando que ese equipo fue tomado por personal de mantenimiento, dentro del equipo se podrá visualizar los códigos de falla presentes, es donde juega un rol muy importante el saber diagnosticar mediante la correcta interpretación del código si es por mala operación, condiciones operacionales o falla eléctrica, la parada por mantenimiento se aplica si durante la evaluación se encuentra con algún problema en un sistema si no fuera el caso se cambia la parada a operaciones mina por mala operación.

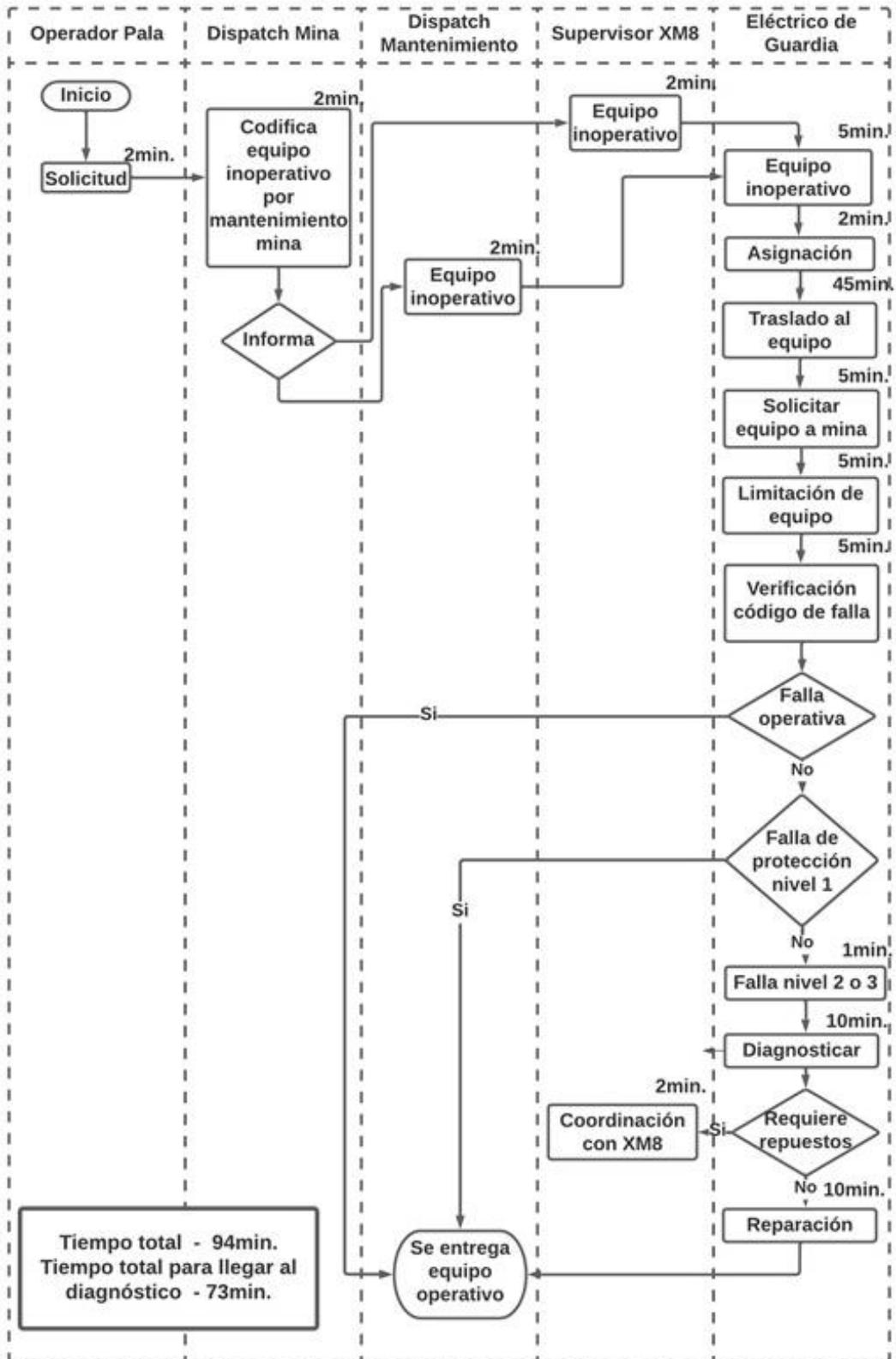
Tiempos generados por la atención en campo

A continuación, se muestra el diagrama de flujo considerando los tiempos perdidos en cada área y como se dirige la comunicación de persona a persona hasta llegar al personal de campo y la toma del equipo.





Imagen 20
Diagrama de Flujo de Tiempos Perdidos



Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)





Como se puede apreciar el tiempo de reparación de una pala eléctrica puede tardar hasta 94 minutos dependiendo de varios factores como son: ubicación del equipo, disponibilidad del técnico, tránsito generado en las vías por los equipos de acarreo o los equipos auxiliares los cuales realizan labores constantes y seguidas en todo el tajo. Solo para diagnóstico el personal técnico puede tardar a hasta 73 minutos.

Resultados del Planeamiento

Por todo el estudio realizado mediante el sistema PHVA en la primera etapa que fue la de planear, se hizo el estudio del diagnóstico situacional del área de mantenimiento eléctrico mina, dedicado al tema de tiempos largos de paradas intempestivas donde se pudo concluir que el 85% de las paradas de los equipos en el lapso de tres meses fue por eventos operacionales provocando fatiga en los sistemas de carguío del equipo y desconocimiento de los nuevos códigos de falla por parte del personal técnico, llevando a tiempos extendidos las paradas intempestivas, para esto se propone la instalación de un sistema remoto el cual permitirá tener un acceso rápido hacia valores operacionales del equipo en tiempo real, además que para la implementación se aprovecharan recursos existentes en el área y en los equipos, permitiendo que su costo de instalación sea bajo y sumando grandes beneficios en la rapidez del diagnóstico, para esto se puede identificar las siguientes ventajas:

- Fácil acceso para el diagnóstico de las fallas en plena operación.
- Se puede generar tendencias sobre las fallas o modos de operación del equipo.
- Aplicación de un software sin implicar daños o peligros de garantía al sistema SCADA.
- Monitoreo en tiempo real de los valores referenciales del equipo, ayudando a sacar diagnósticos por parte del personal técnico.





- Acceso al historial de eventos operacionales en tiempo real.
- El equipo podrá seguir operando mientras se monitorea por el sistema SCADA.
- Se puede acceder a todos los equipos en tiempo real de manera rápida y simultánea.
- Participación de la supervisión que se encuentre capacitado en manejo de sistemas SCADA para el monitoreo o diagnóstico del equipo.
- Se minimiza cualquier accidente laboral referente a la inspección de fallas en equipos en movimiento.

También se muestra las desventajas de este sistema remoto:

- Puede causar eventos de desconfiguración de software si se encuentra en manos de personal no capacitado.
- Necesita el acceso al intranet corporativo para su correcto funcionamiento, acceso a la red cada vez que se cambien los accesos de usuario.
- Necesita personal técnico involucrado en el manejo de esta tecnología.

Con esta propuesta se estima un ahorro de 60 minutos por parada de mantenimiento correctivo de un equipo, ante una supuesta implementación de la propuesta aumentaría la disponibilidad del equipo en un 3%, de esta forma se evitan las paradas de camiones de acarreo, equipo auxiliar y cumplir con las metas establecidas de producción.





3.2.2. Hacer

Diseño del sistema de control remoto para optimizar el diagnóstico de la lectura de fallas del sistema SCADA

Factibilidad de la propuesta

De acuerdo con la problemática encontrada se propone una solución a continuación, se muestra el análisis para la factibilidad sustentando su aplicación en campo determinando si es viable la propuesta del estudio.

- **Técnica:** De acuerdo con los recursos que se tiene actualmente en la empresa se evaluó la propuesta del estudio para implementar en las palas eléctricas marca P&H en las operaciones de la mina Sociedad Minera Cerro Verde.
- **Operativo:** De acuerdo con la estructura actual de la empresa y el área donde se implementará se evaluó si esta propuesta es viable.
- **Económica:** De acuerdo con los recursos con los que cuenta en la empresa, las áreas operativas que actualmente trabajan con los equipos y considerando todos los implementos instalados se evalúa que el costo que llevará a cabo este proyecto será mínimo gracias a la reutilización de muchos componentes los cuales se detallan más adelante.

Estudio Técnico

Para este estudio se evalúa las posibilidades tecnológicas y los recursos necesarios para este proyecto:





Tabla 9
Recursos en Software

Descripción	Cantidad	Por Requerir
Windows XP Embedded	13	0
Licencias Join.Me	15	15

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

Los sistemas operativos Windows XP Embedded ya vienen instalados en cada pala eléctrica, por lo cual no es necesario requerir para cada equipo; las licencias del software Join.Me si serán necesarias requerirlas ya que nos permitirá el acceso.

Tabla 10
Recursos Utilizados en Hardware

Descripción	Cantidad	Por Requerir
Touch Panel 17" con sistema SCADA disco duro 16Gb	13	0
PC de Escritorio para verificación de eventos en oficina / taller	1	0
Tablet Android / IOS para instalación del sistema y verificación en campo	1	1

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

Los Touch Panel 17" son las computadoras con el sistema SCADA, estas servirán para transmitir de manera remota el sistema de control, se requerirá una PC de Escritorio para verificación de eventos en oficina / taller; así mismo será necesaria una Tablet Android / IOS para instalación del sistema y verificación en campo.





Tabla 11
Recursos de Red

Descripción	Cantidad	Por Requerir
Enlace de internet superior a 8Mb	1	0
Direcciones IPs	13	0
Nuevo cableado Ethernet en equipos	13	13

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Para los recursos de red son necesarias un enlace de internet superior a 8Mb para permitir transmitir sin problema alguno de velocidad de respuesta el sistema de control remoto; para direccionar e identificar cada equipo se requiere 13 direcciones IPs y para que todo el sistema de control remoto funcione con todas las bondades de calidad de energía y además pueda ser transmitida por las antenas del área de confiabilidad en la red de intranet de la empresa, será necesario un nuevo cableado de ethernet para terminar de cerrar los circuitos hacia los switch ethernet de la antena de la pala eléctrica.

Según las tablas mostradas y verificando los recursos necesarios para este proyecto se determina que si es factible la instalación del sistema, no se contará con ninguna contratación especial externa al personal directo de la empresa, serán los mismos técnicos del área de mantenimiento eléctrico mina quienes realicen el cableado necesario e instalaciones en los mismos equipos de carguío, para las redes de intranet y PC de taller serán personal de informática de la empresa quienes apoyen en estos trabajos.

Mano de obra necesaria

En la siguiente tabla se muestra el número de técnicos que serán necesarios para la instalación del sistema.





Tabla 12
Mano de Obra Necesaria

MANO DE OBRA NECESARIO	
TRABAJOS	NÚMERO DE TÉCNICOS
Técnicos para Nuevo Cableado	2
Configuración Tablet	1
Configuración PC	1
Configuración equipos de red	1

Fuente (Rodríguez Mamani, 2022)

Instalación del Sistema

Para empezar la instalación de este sistema se procede a identificar los componentes que se reutilizará de la pala eléctrica P&H, teniendo en cuenta que no se debe afectar en nada el funcionamiento del equipo y no afectar la garantía del equipo, ya que para este proyecto de estudio se aplicará en los dos equipos nuevos que se cuenta como propuesta de prueba del funcionamiento del sistema remoto, aprovechando la última tecnología que trae.

Primeramente, se identificará las áreas de trabajo en la pala eléctrica las cuales son cabina operador y cuarto de control en sala de máquinas.

Imagen 21
Áreas de Trabajo en Pala Eléctrica



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

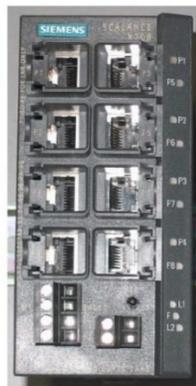




Para iniciar con el cableado y poder tener accesibilidad al sistema del equipo se procede a ubicar los 2 switch de la red ethernet que se utilizarán, tanto de cuarto de control y cabina operador, con ayuda de personal de tecnología minera se procederá a llevar la señal ethernet hacia su propia red de ellos donde se podrá transmitir la señal hacia la intranet de la empresa, también se procederá a cablear componentes faltantes que no estén considerados dentro de la red, como es el analizador de calidad de energía que ya viene instalado pero no incluido en el circuito.

Imagen 22

Switch Ethernet



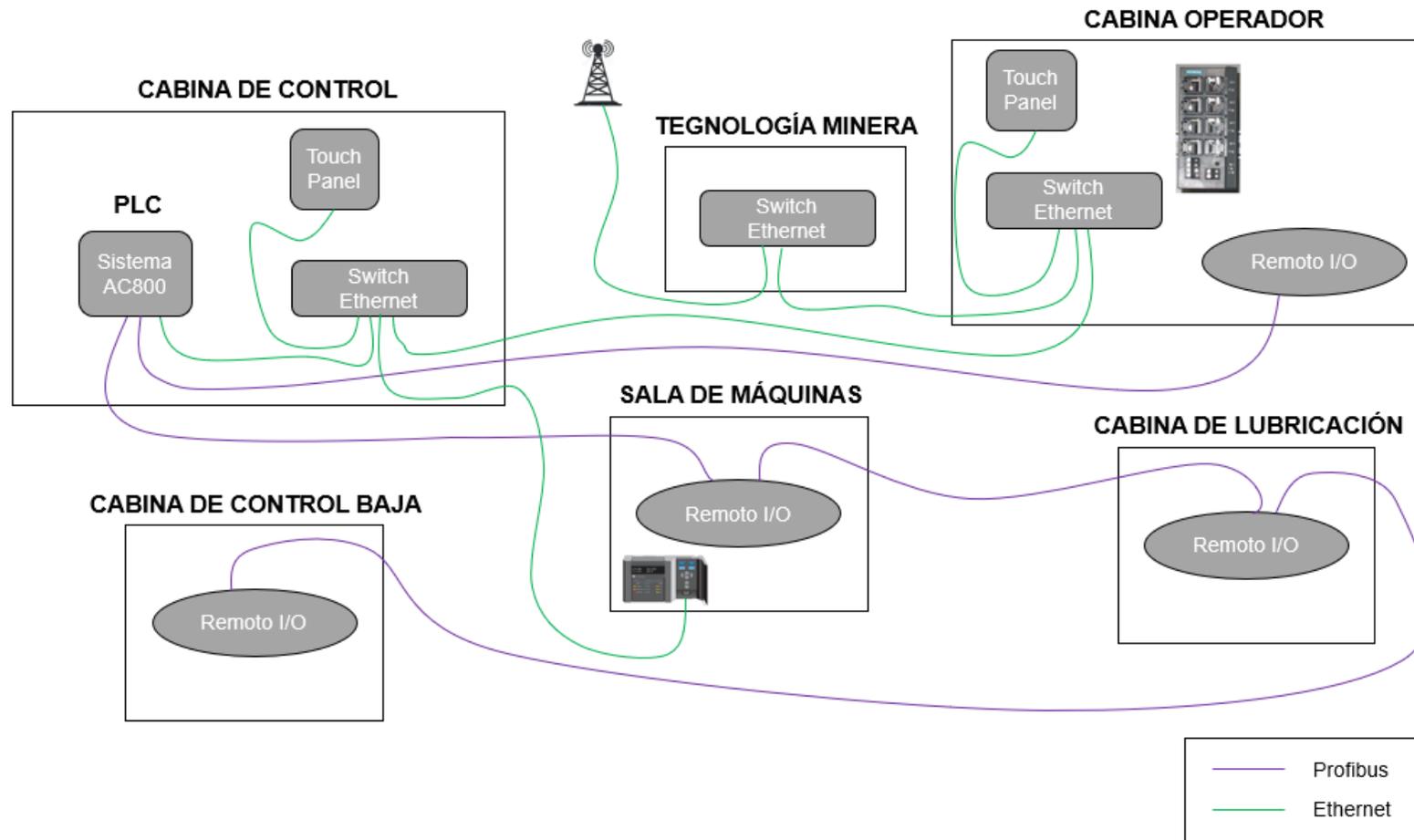
Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Switch ethernet mediante el cual se procederá a distribuir la comunicación ethernet y tener acceso al sistema SCADA de la pala eléctrica.





Imagen 23
Nuevo Circuito Ethernet



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





Después de concluir con el cableado se procedería a instalar los softwares necesarios para el funcionamiento, dentro de ellos el Join.Me, asignando los códigos IP de cada computadora y realizando las programaciones necesarias.

Tabla 13
Códigos IP a Equipos por Implementar

EQUIPO	IP
Pala 22	10.228.160.59
Pala 21	10.228.160.58
Pala 20	10.228.160.57
Pala 19	10.228.160.56
Pala 18	10.228.160.55
Pala 17	10.228.160.54
Pala 16	10.228.160.53
Pala 15	10.228.160.52
Pala 12	10.228.160.51
Pala 11	10.228.160.50
Pala 10	10.228.160.49
Pala 7	10.228.160.48
Pala 6	10.228.160.47

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Para finalizar se debe proceder a coordinar con el área de informática para que realice las programaciones necesarias en el intranet y de acceso mediante los códigos IP asignados, también se encargarán de instalar los softwares necesarios para el funcionamiento en la computadora de taller y cualquier otra PC de supervisión que necesite realizar labores de monitoreo, también se deben habilitar los accesos de personal de campo; en sus oficinas llevarán a cabo la programación de





la Tablet asignada, permitiendo así la conexión a la red Wifi del área de geología el cual permitirá la conexión en toda la mina y el acceso al sistema remoto.

El tiempo de instalación del sistema se está considerando en una semana por equipo como se muestra en el cronograma del proyecto, se debe tener en cuenta que esta instalación se debe avanzar en el tiempo cada vez que el equipo pare por mantenimiento preventivo, debido a que solo se pueden efectuar estas instalaciones con las paradas programadas de mantenimiento, sin afectar la operatividad del equipo.

Explicación de atención en campo con el sistema instalado

Con el estudio de este proyecto se podrá observar que la atención de los equipos será más óptimo porque nos permitirá diferenciar más rápido el tipo de evento que nos mande el equipo, pudiendo rápidamente saber si algún repuesto pueda ser requerido, si se necesitará el apoyo de otra área o simplemente es un evento errado por parte de operación. Sucedido el evento el operador de la pala eléctrica comunicará la falla del equipo, la información llega primeramente a despacho mina el cual crea un código de falla en el sistema que maneja, seguidamente reporta este evento a despacho mantenimiento o al supervisor de campo XM8, los cuales ya con el código de falla reportan este evento al electricista de guardia, teniendo el sistema SCADA a la mano gracias al nuevo sistema inmediatamente se podrá ingresar a la pantalla de la pala eléctrica y verificar el evento ocurrido en el equipo, con los códigos de falla ya identificados, se podrá diagnosticar si es una falla errada por parte del operador (ejemplo: inclinación excedida del equipo) o por condiciones de mala operación (ejemplo: nivel de impacto de giro 2) que haya hecho el operador, si son los motivos antes mencionados se cambia la parada y la demora sería cargada a operaciones mina, de esta forma personal de mantenimiento ahorra el traslado que son más de 45 minutos. Si los códigos de falla son nivel 2 (detiene el equipo en 30 segundos) o nivel 3 (detiene el equipo inmediatamente) es cuando se



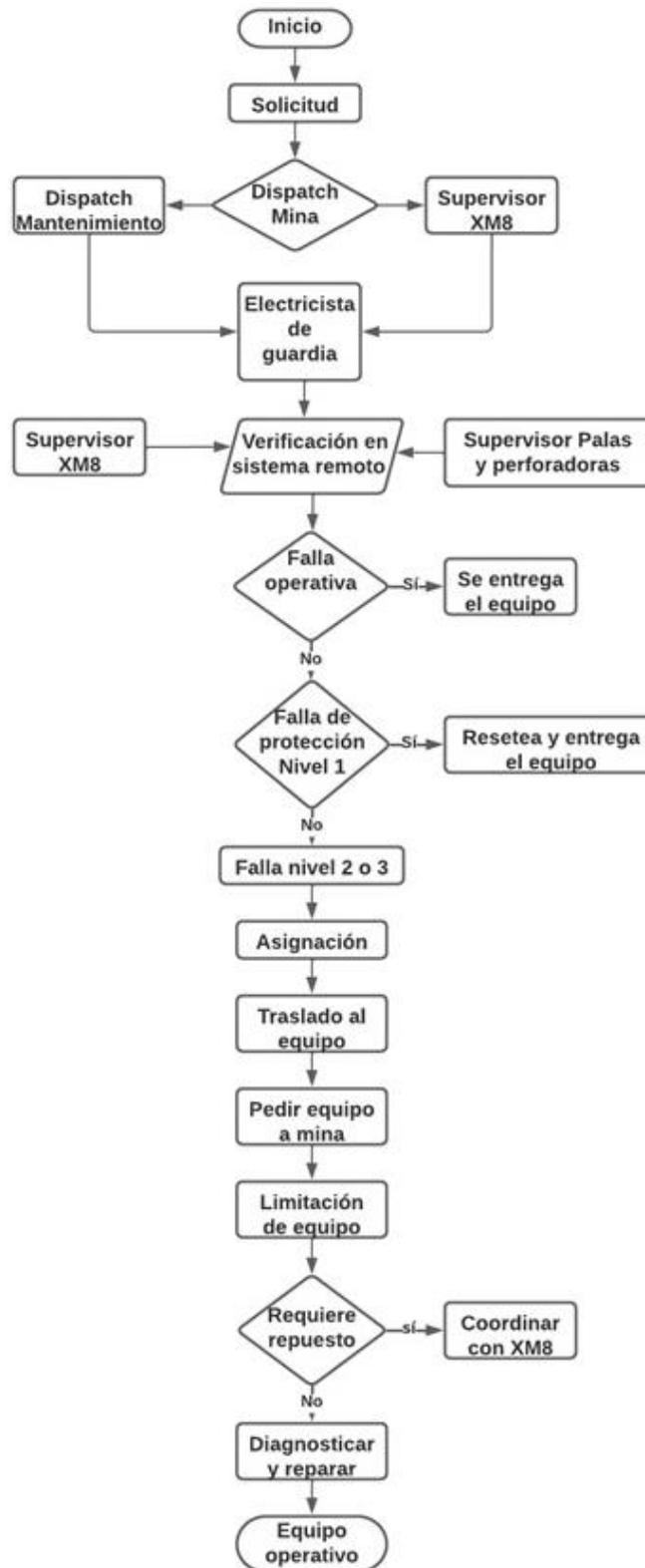


asigna el personal que acude al equipo, esta decisión la dará el grupo de atención en campo, el tiempo aproximado de traslado es de 45 minutos, una vez en el equipo personal técnico debe solicitar el equipo a operaciones mina para poder abordarlo y delimitar el área indicando que ese equipo fue tomado por personal de mantenimiento, si requiere repuesto tendrán que coordinar con supervisor de campo XM8 para su búsqueda y retiro de almacén para la reparación, si no fuese el caso se deberá hacer un buen diagnóstico y se procede con la reparación y entrega del equipo.





Imagen 24
Diagrama de Flujo con Sistema Remoto



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





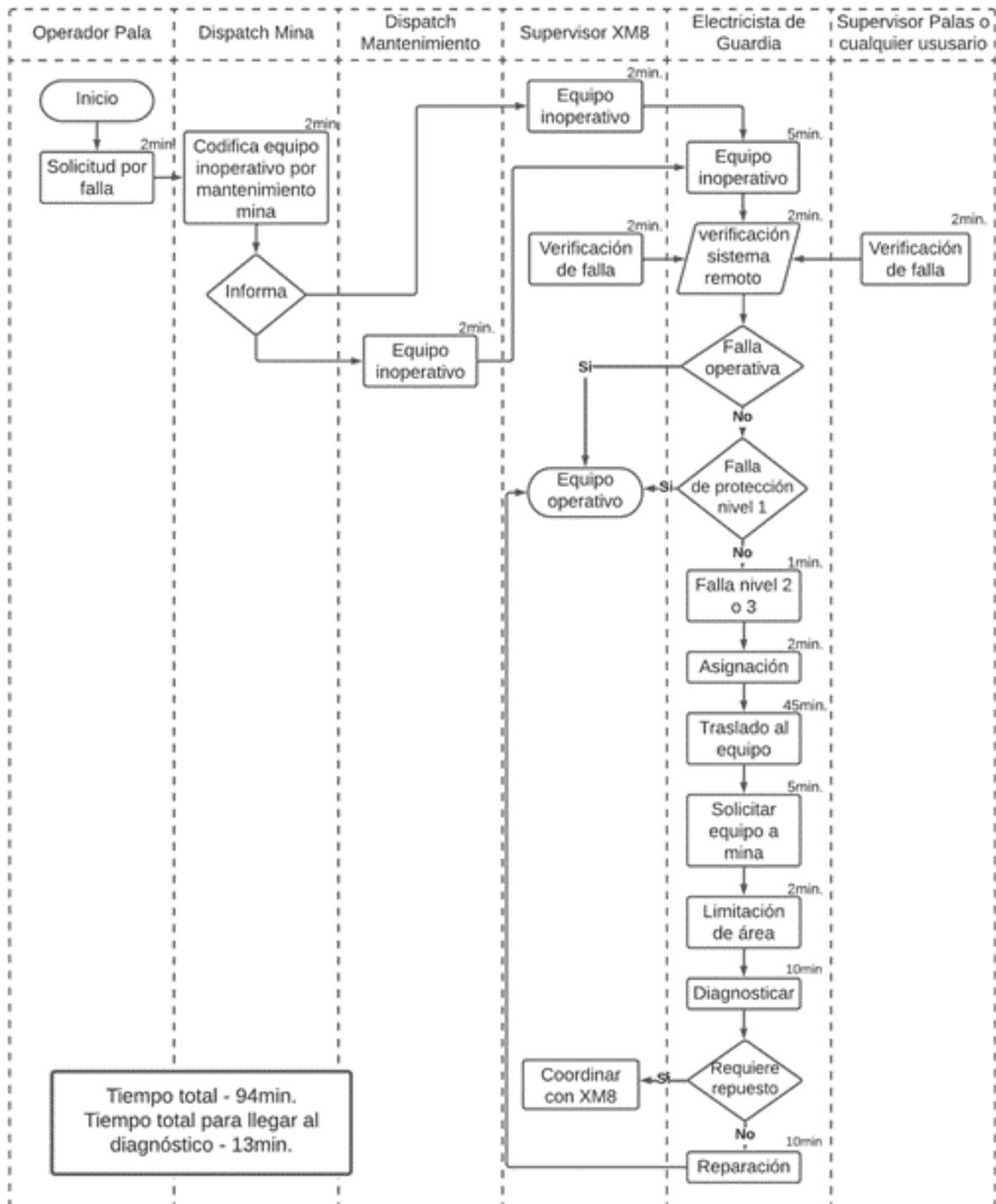
En el siguiente diagrama de flujo ya con el sistema instalado se puede observar la rapidez con el que se llega al diagnóstico del equipo una vez ocurrido el evento, cuando al personal de atención en campo le llega el aviso del evento ocurrido inmediatamente podrán ingresar al sistema de la pala eléctrica y verificar lo ocurrido, tan solo hasta ese momento han pasado 13 minutos y desde ese instante ya se podrá diagnosticar el motivo de la parada del equipo, saber con anticipación lo que se requiere si fuese el caso de mantenimiento, si es un evento de operación o un nivel de protección por la mala operación dar por operativo el equipo, ganando tiempo de producción y horas efectivas del equipo.





Imagen 25

Diagrama de Flujo con Sistema Instalado



Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





En conclusión, con la implementación de la propuesta de la instalación de un sistema remoto se podría ahorrar 60 minutos de diagnóstico, y permitir el ahorro en paradas innecesarias de camiones de acarreo y equipos auxiliares, en 60 minutos de parada se podría cargar 9000 toneladas de material y si consideramos las 13 palas se hablaría de 117000 toneladas de pérdida en producción de material no movido, ahorro en horas hombre que podrían ser invertidas en otros trabajos, exposición innecesaria a línea de fuego durante traslados a las palas, pérdida de disponibilidad en las palas por paradas innecesarias, cabe mencionar que una pala eléctrica que se encuentra en mineral y está detenida por algún desperfecto su pérdida económica por hora es \$10,000 dólares, en los 73 minutos que tomo solo en diagnosticar estaríamos perdiendo \$12,166 dólares aproximadamente, con el sistema instalado ahorraríamos \$10,000 dólares, sin considerar las pérdidas de los camiones y flota auxiliar que trabaja con la pala.

Disminuir tiempos de paradas intempestivas - Estudio operativo

Se cuenta con el apoyo de la Superintendencia, supervisores de las áreas involucradas y con el personal técnico que se siente identificado, se propone a la superintendencia que se inicie con los cursos de capacitación a técnicos líderes para la difusión y conocimiento de los códigos de fallas y eventos que muestre el equipo, por parte de la marca se tiene el apoyo en la resolución de dudas sobre eventos mostrados colocando un personal de soporte que acompañe en la operación de los nuevos equipos ingresados a la empresa, los cuales facilitarán la integración de los equipos hacia el personal de campo.

Las principales características de este estudio se relacionan con:

- Rapidez en diagnosticar correctamente los eventos de falla de una pala eléctrica disminuyendo el tiempo por lo menos en 60 minutos de los 73 minutos que actualmente se usan para llegar al diagnóstico mejorando en un 83% el sistema ya actual.





- Supervisión de valores de operación como son corriente, tensión, señales de referencia y todas las bondades que trae un sistema SCADA en equipos de esta envergadura, todo en tiempo real desde cualquier punto de la empresa.

De acuerdo al análisis que se muestra en el diagrama de flujo de la imagen 19 Diagrama de flujo de tiempos perdidos, sin un sistema remoto instalado se toma un tiempo de 73 minutos solo para llegar al diagnóstico de la falla, tomando en consideración todas las etapas de este trabajo de reparación en campo, que son desde el inicio de la falla hasta la comunicación al personal técnico, generando un mayor tiempo el traslado al equipo las cuales son distancias largas y con tráfico de equipo pesado; luego se muestra la Imagen 24 Diagrama de flujo con sistema instalado, donde se puede apreciar la gran diferencia del tiempo en diagnosticar con un sistema remoto instalado versus uno sin un sistema remoto; por el medio remoto desde que se inicia la falla hasta el diagnóstico que el personal técnico pueda dar son solo 13 minutos, discriminando más rápido el tipo de falla e incluso con la experiencia ganada por el mismo personal puede deducir si será factible algún apoyo o repuesto necesario, llevando a una solución más rápida del equipo, si son eventos por operación o por frentes de minado la entrega del equipo será inmediatamente.

3.2.3. Verificar

Verificación del logro de los objetivos

Mediante la instalación de un sistema remoto se trata de optimizar los tiempos de diagnóstico de paradas imprevistas de los equipos de carguío en sociedad minera Cerro Verde siendo para este estudio las palas eléctricas P&H, después de la implementación de este sistema se propone la instalación en cuatro de las palas que son las más recientes en la operación, se debe llevar un control del resultado de las paradas imprevistas tomando como referencia los tiempos que anteriormente se





podieron analizar, teniendo en cuenta los tipos de paradas como se pudo analizar en la Imagen 13 que son de eventos de paradas eléctricas registradas para este trabajo de investigación, en un periodo de tres meses igual se debe de analizar de la misma forma mediante la tabla de eventos que se haya registrado en ese tiempo, un Ishikawa que fue la herramienta utilizada, debiendo dar como resultado la disminución de los diagnósticos y disminución de los eventos registrados.

Debemos de llevar un registro de los cuadros de disponibilidad de los equipos en prueba, que son la pala eléctrica 22 y la pala eléctrica 21. También se debe de verificar que los eventos que nos trajo mayor problema en tiempos de diagnóstico que fueron los de nivel 1 hayan disminuido rotundamente ya que son eventos por operación y se debe de tener un mejor resultado en el diagnostico de estos eventos.

Tabla 14

Disponibilidad Esperada con Sistema Remoto

DISPONIBILIDAD ANUAL ESPERADA	
Pala 21	89.07
Pala 20	88.44
Pala 19	87.60
Pala 18	84.46
Pala 17	92.55

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Como se puede observar en la tabla 14, disminuyendo el tiempo por mantenimiento correctivo que genero reseteos durante el año 2021 con el sistema remoto, se debería esperar un resultado de disponibilidad como el mostrado en la tabla.





3.2.4. Actuar

Mediante la instalación de un sistema remoto para optimizar los tiempos de diagnóstico de las fallas en palas eléctricas P&H, se debe de estandarizar este sistema, permitiendo así la ampliación de la instalación en los demás equipos que serían 11 palas eléctricas más, la estandarización permitirá que el sistema pueda entrar en los programas de mantenimiento permitiendo así la mantenibilidad del sistema y correcto funcionamiento.

Para la ampliación hacia los demás equipos no será necesario mayores recursos ya que todos los recursos son reutilizados del mismo equipo y son instalados con personal propio de la empresa, además que ya se tendrá gente especializada en el tema, permitiendo así llevar un control y monitoreo de toda la flota de palas eléctricas, es ahí donde se podrá notar un mayor impacto en la operación y toma de decisiones con los diagnósticos que se pueden realizar en línea, además de poder aplicar con futuras herramientas de supervisión.

La utilización y aplicación de sistemas remotos mediante la nube se está volviendo una estandarización por las ventajas de poder monitorear y supervisar un equipo desde cualquier punto de la red, si esto se lleva a exteriores se pueden mejorar procesos de supervisión como los que se necesitaron en tiempos de pandemia por COVID19, estos proyectos se pueden aplicar en distintos procesos.

La mejora continua es un trabajo de día a día que no debe detenerse y se debe apostar por ellas ya que van en beneficio de los procesos y mejora el desempeño laboral dando un mejor funcionamiento de los equipos.

3.2.5. Definiendo cursos de capacitación del personal

De acuerdo al análisis de fallas que se pudo ver anteriormente con todos los eventos presentados en campo con la operación de los equipos y





viendo la disponibilidad de parte de fábrica (Komatsu) el poder brindar los cursos, además que mantener personal capacitado en la empresa es favorable en temas de mejor respuesta ante eventos de falla y diagnóstico de fallas, teniendo a la superintendencia en favor de la capacitación es que se plantea la siguiente lista de cursos de capacitación para el personal de campo.

Tabla 15

Cursos Propuestos para Técnicos

CURSO PLANTEADO PERSONAL TÉCNICO		
CURSO	HORAS	EMPRESA
Curso avanzado Centurión Palas AC	32	KOMATSU
Curso TripRite	8	KOMATSU
Curso ABB - ACS-DCS 800	16	KOMATSU
Curso Centurión CC	16	KOMATSU
Curso Sinamics Variador	8	KOMATSU

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Además la capacitación de los operadores es también importante ya que ellos son los que directamente interaccionan con el equipo por muchas horas, mantenerlos capacitados con las maneras de operación, tipos de ataque al frente de trabajo, el no sobreesfuerzo del equipo ante malas maniobras de operación son importantes para mantener el equipo en óptimas condiciones y no fatigar los componentes que más adelante provocan fallas que ni el mismo sistema puede detectar, manifestándose solo en una gran falla que pueden tomar días de reparación; además de la importancia de la interacción que debe tener los operadores con los sistema SCADA al nivel de operación los cuales le permiten mejorar sus prácticas de operación y cuidado del equipo, para tal caso se plantea los siguientes cursos de operación.





Tabla 16

Cursos Propuestos para Operadores

CURSO PLANTEADO PERSONAL DE OPERACIÓN		
CURSO	HORAS	EMPRESA
Operación Palas AC	4	KOMATSU
Operación Palas DC	4	KOMATSU
Interacción sistema Centurión	2	KOMATSU

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

3.3. COSTOS DEL PROYECTO

Antes de entrar a los costos del presente proyecto es necesario conocer que el carguío es un proceso unitario o subproceso que se encuentra dentro del proceso de minado, para ello optimizar los costos en cada subproceso responde a la estrategia de reducción de costos que tiene la minera en toda la cadena de valor. Los costos son considerados estratégicos en minería porque permiten lograr una ventaja competitiva, ya que la minería depende directamente de los precios internacionales de los metales.

Por otro lado, se debe indicar que los índices de eficiencia del equipo de carguío (Pala) están referidos al tiempo que demoran en llenar un camión minero, en este caso este camión tiene una capacidad de 300 toneladas, este tiempo involucra el tiempo de llenado del cucharón, el desplazamiento, la descarga y el posicionamiento al punto de carga o carguío. Todo este proceso es llamado “pase”. La minera tiene este tiempo establecido en 2 minutos. Se puede concluir que cada pala carga con 2 pases y medio aproximadamente un camión minero en 02 minutos y como trabaja con 02 frentes, carga 02 palas en 04 minutos, siendo 24 camiones cargados en una hora según al índice de disponibilidad de 83% determinado por mina.

Para el estudio económico de este proyecto se han determinado mano de obra de todos los técnicos involucrados para la instalación del nuevo cableado de señal ethernet hacia los switch que ya se encuentran instalados en el equipo por parte de Geología Mina y Tecnología Minera para sus cámaras de dureza de material, también los materiales a utilizar para que todas las señales





inalámbricas sean subidas a la red con éxito, así mismo las capacitaciones al personal, todas estos costos serán asumidos por la empresa ya que hay disponibilidad por parte de la marca de la pala hacia la empresa y compromiso de cumplir con las capacitaciones por la adquisición de los nuevos equipos.

3.3.1. Costo por capacitación

Tabla 17

Costos de Capacitación del Personal Técnico

CURSO PLANTEADO PERSONAL TÉCNICO			
CURSO	HORAS	EMPRESA	Costo
Curso avanzado Centurión Palas AC	32	KOMATSU	S/ 60,000.00
Curso TripRite	8	KOMATSU	S/ 32,000.00
Curso ABB - ACS-DCS 800	16	KOMATSU	S/ 60,000.00
Curso Centurión CC	16	KOMATSU	S/ 32,000.00
Curso Sinamics Variador	8	KOMATSU	S/ 20,000.00
	80		S/ 204,000.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

En la tabla anterior se observa el planteamiento de capacitación de 05 cursos, estos son brindados por la marca Komatsu, son desarrollados en su taller de la Joya Arequipa, se plantea que sean programados en el lapso de un año para que no interrumpan el desarrollo normal de las labores de los técnicos y la empresa.

Tabla 18

Costos de Capacitación del Personal de Operación

CURSO PLANTEADO PERSONAL DE OPERACIÓN			
CURSO	HORAS	EMPRESA	COSTO
Operación Palas AC	4	KOMATSU	S/ 20,000.00
Operación Palas DC	4	KOMATSU	S/ 20,000.00
Interacción sistema Centurión	2	KOMATSU	S/ 16,000.00
	10		S/ 56,000.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)





Los cursos planteados para los operadores de la pala son 3, con un total de 10 horas, de igual manera se plantea que estos cursos sean desarrollados y programados en el plazo de un año, para que no afecte el desarrollo laboral de los operadores ni la empresa.

Tabla 19

Costo de Capacitación Personal Técnico

COSTO POR CAPACITACIÓN / OPORTUNIDAD				
	GANANCIA POR HORA	TIEMPO HORAS	CANTIDAD	TOTAL
Personal Técnico	S/23.44	80	15	S/ 28,125.00
Personal de Operación	S/23.44	10	26	S/ 6,093.75
TOTAL				S/ 34,218.75

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Los costos de la tabla anterior muestran el costo de capacitación / oportunidad, el curso de capacitación será tomado por 15 técnicos y 26 operadores, el sueldo promedio de cada trabajador es de S/.4500 y en base a este monto se calcula la ganancia por hora, ellos deberán tomar el curso según programación asignada por el área de recursos humanos.

3.3.2. Costo por instalación

Son costos que se deberán dar por la instalación del sistema remoto, los cuales son:





Tabla 20

Costo por Instalación para un Equipo

COSTO POR INSTALACIÓN PARA UN SOLO EQUIPO				
	GANANCIA POR HORA	TIEMPO HORAS	CANTIDAD	TOTAL
Configuración equipos de red	S/33.85	8	1	S/270.83
Técnicos para Nuevo Cableado	S/23.44	16	2	S/750.00
Configuración Tablet	S/35.94	4	1	S/143.75
Configuración PC	S/35.94	4	1	S/143.75
TOTAL				S/ 1,308.33

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Los costos de la tabla anterior muestran el costo de instalación para un solo equipo, los sueldos promedio de los trabajadores son, de tecnología minera es de S/.6500.00, el de personal técnico es de S/.4500.00 y el de personal de informática es de S/. 6900.00 en base a estos montos se calculará la ganancia por hora; se sugiere que la instalación sea para los 13 equipos en el plazo de un año o más según determine la empresa, en el caso de los 13 equipos sería un costo total de S/ 17,008.33

Tabla 21

Costo de Equipo Licencias

COSTO DE EQUIPOS DE INSTALACIÓN POR 1 PALA ELÉCTRICA			
	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Licencia Software Join.Me	26	S/451.00	S/11,726.00
TOTAL			S/11,726.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Para la instalación del sistema remoto, será necesaria obtener 02 licencias del Software Join.Me por equipo, en el supuesto caso que se instalen a las 13 palas el costo por los softwares sería S/11726.00





3.3.3. Costo de insumos

Tabla 22
Costo de Insumos

COSTOS DE INSUMO			
	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
EPP y otros insumos	1	S/300.00	S/300.00
Cable Ethernet (metros)	20	S/1.80	S/36.00
TOTAL			S/336.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Estos costos de insumo se utilizarán para la instalación del sistema remoto, la tabla anterior muestra los insumos necesarios para un equipo, en el caso que se instalen a los 13 equipos sería un total de S/ 4368.00.

3.3.4. Costo por mantenimiento

Tabla 23
Costo por Mantenimiento

COSTO POR MANTENIMIENTO	
Costo por mantenimiento del sistema remoto	S/2,000.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Este costo de mantenimiento hace referencia al costo anual por el mantenimiento del sistema remoto que se debe hacer mensualmente, un técnico de mina del área de informática asignado debe de actualizar la clave Wifi en los equipos, ello se hace porque esta clave cambia mensualmente en la minera, si los equipos se quedan sin acceso no se podrá usar el sistema remoto planteado.





3.3.5. Costo de equipos de instalación

Tabla 24

Costo de Equipo Necesario para Sistema Remoto

COSTO DE EQUIPOS DE INSTALACIÓN POR 1 PALA ELÉCTRICA			
	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Tablet	2	S/4,300.00	S/8,600.00
Protector de alta dureza para tablet	2	S/400.00	S/800.00
			S/9,400.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

La Tablet será necesaria para controlar el sistema remoto, que permitirá monitorear y diagnosticar el sistema SCADA de los equipos, además se deberá instalar el software Join.Me, para el funcionamiento se deberá configurar el Join.Me y clave de la red intranet de la minera, serán necesarios 02 equipos uno para cada turno y deberán ser cambiados anualmente.





3.3.6. Resumen de costos.

Tabla 25
Resumen de Costos

RESUMEN DE COSTOS			
PROPUESTA DE MEJORA (MODELO CRM)	COSTOS	TIPO DE COSTO	TOTAL
1. Costo por capacitación: <i>Cursos de capacitación al personal involucrado con el equipo</i>	S/294,218.00	Único	S/ 294,218.00
1.1. Cursos de capacitación a técnicos	S/204,000.00	Único	S/ 204,000.00
1.2. Cursos de capacitación a operadores	S/ 56,000.00	Único	S/ 56,000.00
1.3. Costo de capacitación, oportunidad	S/ 34,218.00	Único	S/ 34,218.00
2. Costo por instalación <i>Instalación de sistema remoto</i>	S/ 17,008.00	Único	S/ 44,502.00
2.1. Instalación	S/ 17,008.00	Único	S/ 17,008.00
2.2. Licencia Software Join.me	S/ 11,726.00	Anual	S/ 11,726.00
2.3. Equipo de control (tablet y protector)	S/ 9,400.00	Anual	S/ 9,400.00
2.4. Insumos	S/ 4,368.00	Único	S/ 4,368.00
2.5. Soporte de mantenimiento	S/ 2,000.00	Anual	S/ 2,000.00
			S/ 338,720.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

En esta tabla se puede observar el resumen de los costos teniendo en cuenta todos los gastos aplicados para el presente proyecto, viendo también el tipo de costo los cuales serán únicos aquellos que solo se aplicarán por única vez y los costos anuales aquellos que serán necesario repetirlos cada año.

3.3.7. Beneficios del proyecto

Para mostrar los beneficios de la propuesta planteada, es necesario saber que la empresa maneja un costo por hora de parada de equipo de carguío estas paradas se pueden dar en zonas de desmonte el cual no contiene mineral y son llevados a los botaderos, esta hora de parada equivale a US\$6000.00 dólares americanos. En cambio, en las zonas de mineral donde la pala esté trabajando, esta hora de parada equivale a US\$10000.00 dólares americanos de pérdida.





Tabla 26
Factor de Parada por Tipo de Carguío

Tipo de parada de Pala	Monto equivalente
Hora de parada en desmonte	\$ 6,000.00
Hora de parada en mineral	\$ 10,000.00

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Estos costos de este factor por parada de equipo han servido para determinar y hacer una comparación en el proyecto presentado, los cuales se muestran a continuación:





Tabla 27
Costos de Parada por Diagnóstico sin el Proyecto

PALAS	SISTEMA	MODELO	OPERACIÓN	PARADA Hrs/ MES	PARADA Hrs/AÑO	COSTO POR PARADA/HORA	TOTAL/PARADA
6	Eléctrico	2800XP	Mineral	12.16	145.92	\$10,000.00	\$1,459,200.00
20	Eléctrico	4100XPC	Mineral	12.16	145.92	\$10,000.00	\$1,459,200.00
21	Eléctrico	4100XPC	Mineral	12.16	145.92	\$10,000.00	\$1,459,200.00
22	Eléctrico	4100XPC	Mineral	12.16	145.92	\$10,000.00	\$1,459,200.00
7	Eléctrico	2800XP	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
10	Eléctrico	2800XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
11	Eléctrico	2800XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
12	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
15	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
16	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
17	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
18	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
19	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	12.16	145.92	\$6,000.00	\$875,520.00
				158.08	1896.96		\$13,716,480.00

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

Total de horas paradas al mes por diagnóstico de las 13 palas = 158.08

Total de horas paradas al año por diagnóstico de las 13 palas = 1896.96

Total de costo de mantenimiento por diagnóstico al año = \$ 13,716,480.00 aproximadamente.

Se hace mención que estos costos no son fijos, ya que estos tiempos de paradas son deducidos según el estudio ya que las paradas actuales varían en el tiempo y dependen mucho de las condiciones, estos costos son un promedio que fueron obtenidos con una entrevista con el área de planificación y no son fijos, fueron dados solo por motivos de estudio y ver las posibilidades de pérdidas y beneficios de este estudio.





Costos con la propuesta del proyecto

Tabla 28

Costos de Parada por Diagnóstico con el Proyecto

PALAS	SISTEMA	MODELO	OPERACIÓN	PARADA Hrs/ MES	PARADA Hrs/AÑO	COSTO POR PARADA/HORA	TOTAL/PARADA
6	Eléctrico	2800XP	Mineral	2.16	25.92	\$10,000.00	\$259,200.00
20	Eléctrico	4100XPC	Mineral	2.16	25.92	\$10,000.00	\$259,200.00
21	Eléctrico	4100XPC	Mineral	2.16	25.92	\$10,000.00	\$259,200.00
22	Eléctrico	4100XPC	Mineral	2.16	25.92	\$10,000.00	\$259,200.00
7	Eléctrico	2800XP	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
10	Eléctrico	2800XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
11	Eléctrico	2800XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
12	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
15	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
16	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
17	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
18	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
19	Eléctrico	4100XPC	Desmonte	2.16	25.92	\$6,000.00	\$155,520.00
				28.08	336.96		\$2,436,480.00

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

Total de horas paradas al mes por diagnóstico de las 13 palas = 28.08

Total de horas paradas al año por diagnóstico de las 13 palas = 336.96

Total de costo de mantenimiento por diagnóstico al año = \$ 2,436,480.00

El ahorro aproximado si se implementara el sistema de control remoto sería de US\$11,280,000.00 dólares americanos y en soles sería S/.42,864,000.00 soles.





Tabla 29
Beneficios Esperados

BENEFICIOS ESPERADOS			
MEJORA	DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE	BENEFICIO MONETARIO
Disminución de tiempo de diagnóstico	La mejora supone reducir paradas de la pala, por lo tanto, aumentar su disponibilidad	60 minutos por parada de equipo de carguío en frentes de mineral y desmonte	S/ 42,864,000.00
TOTAL BENEFICIO			S/ 42,864,000.00

Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)

El beneficio esperado de este proyecto esta considerado en el tiempo ahorrado por los diagnósticos de falla que se pretenden disminuir en mantenimientos correctivos, teniendo como base los costos de parada que la minera maneja para estos equipos de carguío, gracias a estos valores se puede calcular los beneficios en soles ya que los valores manejados por mina son en dólares.





Flujo de caja

Tabla 30
Costo - Beneficio

COSTO - BENEFICIO				
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Inversión de la Propuesta de Mejora	-S/338,720.00			
Beneficios Esperados				
Reducir paradas en pala 1, 2, 3, 4		S/ 14,288,000.00		
Reducir paradas en pala 5, 6, 7, 8			S/ 14,288,000.00	
Reducir paradas en pala 09, 10, 11, 12, 13				S/ 14,288,000.00
Flujo De caja	-S/338,720.00	S/14,288,000.00	S/14,288,000.00	S/14,288,000.00
Periodo de Recuperacion de Dinero	-S/338,720.00	S/ 13,949,280.00	S/ 28,237,280.00	S/ 42,525,280.00
Periodo de Retorno	1 años			
B/C	126.55			
VAN	S/ 21,059,456.27			
TIR	42.18			
COK	27%			

Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

De este análisis se obtiene que el costo beneficio, que es la relación entre costo y los beneficios, dando como resultado 126.55, por cada sol invertido expresa un retorno de 125.55.

El Valor actual neto, flujo de valor en el tiempo actualizado, da como resultado S/ 21 059 456.27, esto muestra que se genera rentabilidad, es decir beneficios.





La tasa interna de retorno es la rentabilidad que se puede ofrecer a los inversionistas, muestra un resultado de 42.18, tasa que puede ser ofrecida como máximo.

El costo de oportunidad de capital es 27%, tasa obtenida a través de una entrevista con el coordinador de proyectos, esta tasa es la mínima exigida por los inversionistas para dar viabilidad a un proyecto en la minera.

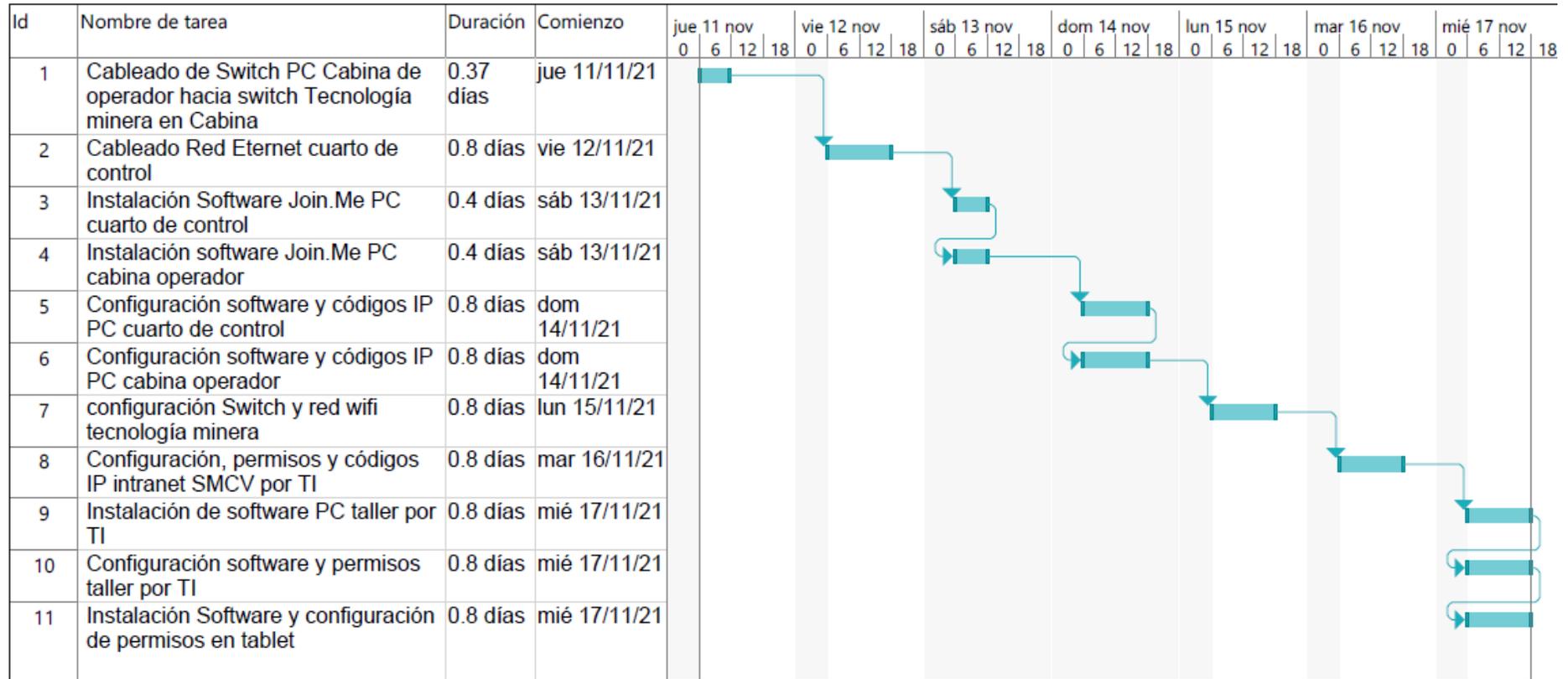




3.4. CRONOGRAMA DEL PROYECTO

Imagen 26

Cronograma de Realización del Proyecto en Pala 21



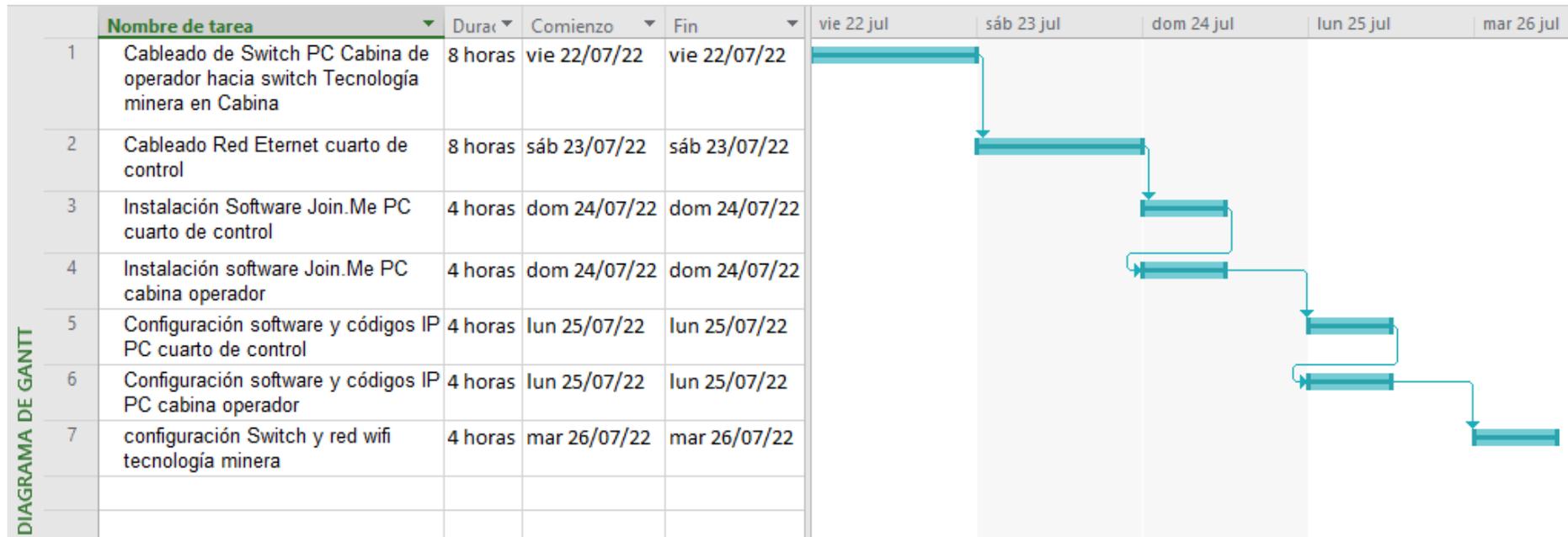
Fuente: (Rodríguez Mamani, 2022)





Imagen 27

Cronograma de Realización del Proyecto en Pala 22



Fuente: (Rodriguez Mamani, 2022)

Estos cronogramas del proyecto muestran la implementación del sistema remoto en diferentes paradas de mantenimiento preventivo, para no afectar la disponibilidad del equipo.





3.5. CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el objetivo general, implementar un sistema remoto para optimizar el diagnóstico en el mantenimiento correctivo de equipos de carguío en la sociedad minera Cerro Verde se puede concluir la viabilidad de este proyecto por ser funcional y de fácil instalación, generando grandes resultados en los diagnósticos de fallas.
2. Como se menciona en el objetivo específico número 1 realizar un diagnóstico situacional en el área de mantenimiento eléctrico mina aplicada en los equipos de carguío se puede concluir que se identificó y clasifíco las fallas que generaron paradas intempestivas de los equipos, donde las paradas de nivel 1 son operacionales y generaron dudas en los operadores y personal técnico, mal interpretando y tratando de igualar con la flota antigua, produciendo paradas intempestivas repetitivas.
3. De acuerdo con el objetivo específico número 2 identificar los tiempos de paradas intempestivas de la pala eléctrica por malos diagnósticos de fallas en los equipos de carguío se concluye que mediante la instalación de un sistema remoto se disminuyó de 73 a 13 minutos para tener un diagnóstico real y con posibilidad de disminuir los tiempos de reparación del equipo, cumpliendo así el objetivo del presente trabajo.
4. Como dice el objetivo específico número 3 diseñar el sistema de control remoto para optimizar el diagnóstico de la lectura de fallas del sistema SCADA en el equipo de carguío se concluye que se pudo disminuir en un 82% el tiempo de diagnóstico de fallas imprevistas, teniendo así tiempos menores de paradas y reflejándose en la disponibilidad del equipo, cumpliendo así este objetivo del presente trabajo.
5. Como se menciona en el objetivo específico número 4 definir cursos de capacitación al personal para mejorar el diagnóstico de fallas y usos del sistema SCADA en los equipos de carguío, se concluye que se pudo definir y proponer los cursos de capacitación en un periodo de un año,





favoreciendo la productividad para la empresa y exponiéndose menos a los riesgos operacionales a los trabajadores.

3.6. RECOMENDACIONES

1. La empresa debe apostar en la instalación de este sistema ya que favorece enormemente en el tiempo de respuesta ante un evento de mantenimiento correctivo, facilitando a la supervisión que se integre en el diagnóstico, además la inversión de este proyecto es bajo gracias a la reutilización de muchos componentes que actualmente ya se encuentra en la empresa.
2. Estar presente siempre con lo último de la tecnología permite mantener al personal técnico involucrado con su propio desarrollo y así impulsar su mejora como persona y además se obtienen mejores resultados en su desempeño laboral.
3. En los últimos años se han dado saltos abismales en el desarrollo de la tecnología, dando a las empresas mejores resultados en temas de automatización, sus desventajas también vienen de la mano a grandes saltos, ya que temas de licencias, soporte de sistemas operativos y repuestos de componentes por parte de las marcas fabricantes de estos equipos o softwares de apoyo en temas de automatización, quedan sin soporte y ya no dan apoyo en temas de mantener una línea determinada de equipos, dejándolos obsoletos, de esta manera obligan a las empresas a actualizarse con la implementación de sus nuevos sucesores; antes los tiempos de vida de un componente electrónico se veía en lapsos de tiempos largos, a medida que se impulsa la modernización acortan estos tiempos de vida de los componentes, es por ello que las empresas deben apostar en la actualización de los equipos a medida que vayan saliendo para así poder gozar mayor tiempo de los nuevos equipos modernos, mantener operativos sus procesos y no quedarse sin soporte por parte de las marcas.





4. Los riesgos laborales siempre estarán presentes en todo trabajo, es obligación de los trabajadores estar siempre atento ante cualquiera de estos riesgos y por parte de la empresa debe ser obligación eliminar estos riesgos cuando es posible hacerlo, mediante la implementación de proyectos como el presente estudio se eliminan muchas exposiciones a riesgos laborales.

5. La capacitación continua de los trabajadores favorece enormemente en su desempeño y así mejora la respuesta en sus labores cotidianas con la interacción de los equipos y fallas que se presenten en ellas, invertir en la especialización de los trabajadores hará que se mejore la respuesta ante cualquier evento ocurrido en los equipos, mejorando la producción de la empresa teniendo los equipos operativos.





CAPÍTULO IV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antinori Regalado, P. G. (2018). *Diseño de un sistema SCADA a travez de una red Wireless para monitoreo y control de un sistema de paneles de 04 ventiladores principales de 100,000 CFM de la minera Bateas*. Obtenido de www.repositorio.unprg.edu.pe:
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2846/BC-TES-TMP-1666.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerro Verde. (2022). *Documentos electrónicos y digitales de la organización*. Obtenido de Historia, misión, visión y otros: <https://www.cerroverde.pe/mineria-cobre-molibdeno-arequipa-minera-nosotros>
- Choque Valdivia, J. L. (2020). *Propuesta de mejora para un sistema remoto de control, monitoreo y supervisión de los principales equipos de producción de una planta de refinería como medida preventiva frente aL COVID-19, Arequipa, 2020*. Obtenido de www.repositorio.continental.edu.pe:
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10410/3/IV_FIN_108_TE_Choque_Romero_2020.pdf
- Cruzado Paredes, N. J. (2019). *Implementación de un sistema SCADA en la nube para mejorar el servicio de monitoreo y control remoto de una planta de tratamiento agua potable en Lima Norte 2015 - 2018*. Obtenido de www.repositorio.unfv.edu.pe:
<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3886/CRUZADO%20PA REDES%20NAIM%20JHON%20-%20MAESTRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodriguez Mamani, E. W. (2022). Trabajo de suficiencia profesional para obtar por el título de Ingeniería Industrial. *Implementación de sistema remoto para el diagnóstico y eficiencia en el mantenimiento correctivo de equipos de carguío en sociedad minera Cerro Verde*. Arequipa, Arequipa, Perú: Electrónico & digital.





Sánchez Tapia, V. A. (2020). *"Diseño de un sistema SCADA con control remoto, usando un controlador lógico programable (PLC), un sistema CCTV, un servidor VNC y el software Team Viewer, aplicado a la seguridad residencial"*.
Obtenido de [www.repositorio.unsa.edu.pe:
http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11509/IEsatava.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11509/IEsatava.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Varas Soler, C. A. (2019). *"Propuesta de rediseño en el proceso de recopilación de datos para el análisis de confiabilidad en interruptores de potencia de gas SF6"*.
Obtenido de [www.repositorio.uchile.cl:
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170619/Propuesta-de-redise%c3%b1o-en-el-proceso-de-recopilacion-de-datos-para-el-analisis-de-confiabilida-en-interruptores-de-potencia-de-Gas-SF6.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170619/Propuesta-de-redise%C3%B1o-en-el-proceso-de-recopilacion-de-datos-para-el-analisis-de-confiabilida-en-interruptores-de-potencia-de-Gas-SF6.pdf?sequence=3&isAllowed=y)





CAPÍTULO V

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Scada. - Control con supervisión y adquisición de datos

Centurión. - Sistema de control de la pala eléctrica P&H

Join.Me. - Software que permite el acceso y control remoto.

Pala eléctrica. - Equipo de carguío usado en minería de tajo abierto.

Plc. - Controlador lógico programable, computadora utilizada en procesos de automatización industrial.

Sensórica. - Unidades que emiten señal analógica o señales binarias.

Actórica. - Actuadores discretos que permiten cumplir una función determinada.

Parada Intempestiva. - Parada que ocurre fuera tiempo, que no ha sido programada.

P&h. - Marca de equipos de carguío y perforación en gran minería

Abb. - Marca especializada en electrónica de robótica, de energía eléctrica, de automatización, equipamientos industriales y otras tecnologías de ingeniería.

Siemens. - Fabricante de componentes electrónicos del sector industrial, energético y de salud.



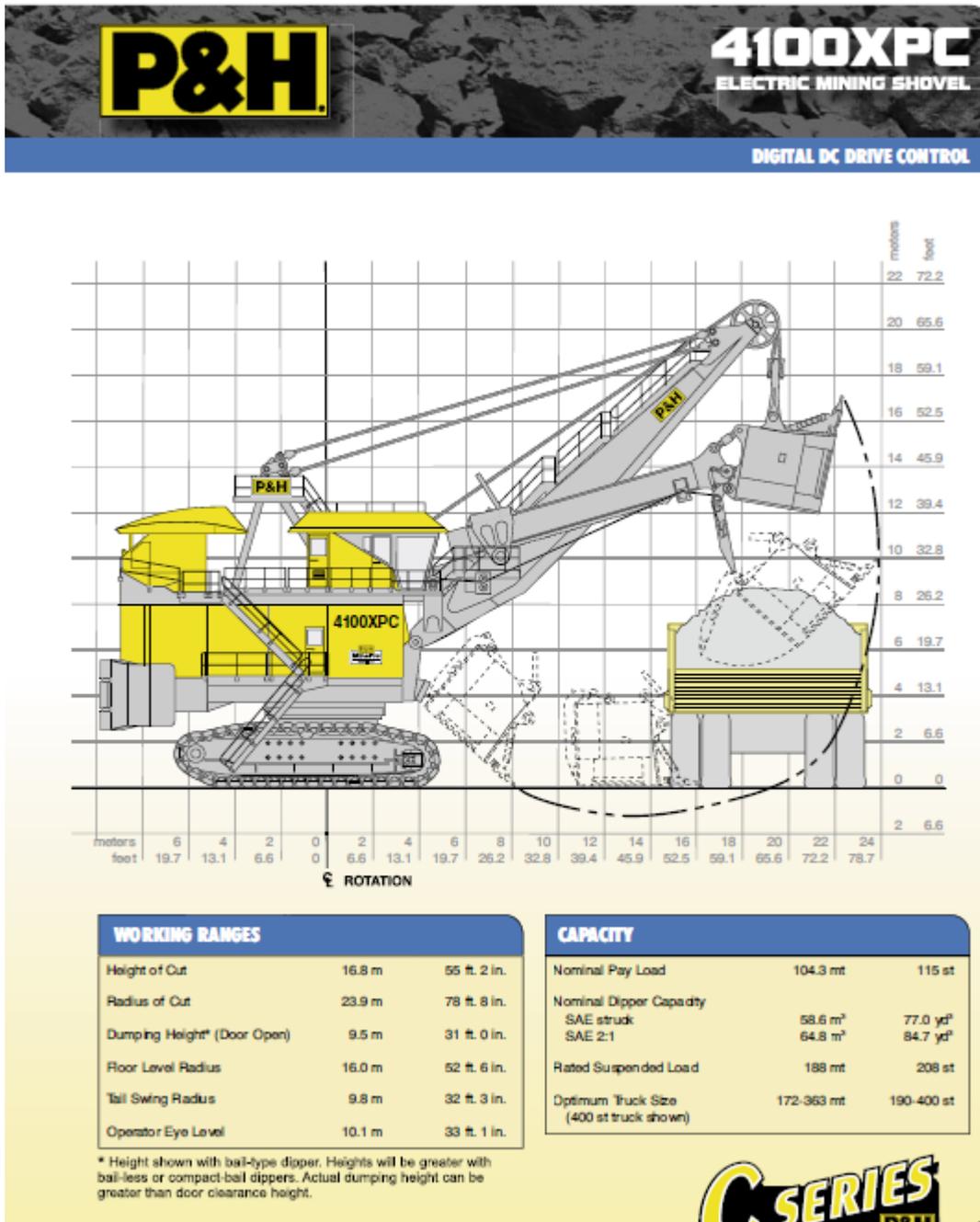


CAPÍTULO VI

ANEXOS

Anexo 1

Ficha Técnica Pala P&H 4100XPC



Fuente: (Cerro Verde, 2022)





Anexo 2

Ficha Técnica Pala P&H4100XPC

ELECTRICAL CONTROL

- Centurion Supervisory Controller provides direct integrated communication with motor drives giving precise motor control and fast cycle times. Real-time multi-tasking capability allows for optimal machine logic sequencing, monitoring and control.
- Centurion I/O System uses 'Profibus' communication protocol for seamless integration of all shovel subsystems and future expandability. Low-voltage 24V DC I/O drop points feature open and short circuit detection for improved diagnostics and troubleshooting.
- Centurion Information System's enhanced Graphical User Interface (GUI) features intuitive, icon-based screens to display vital information such as shovel status, troubleshooting information, and optional production monitoring data and operator feedback.
- P&H Digital DC Drive provides precise, reliable, solid state power to the main motion motors.

DIPPER & DIPPER TRIP

- P&H OPTIMA dippers combine consistent productivity with high durability and maintainability. Dippers are configured to mine specific conditions and capacity requirements from a variety of combinations of body and lip designs, as well as other unique P&H technologies. Specific wear packages and GET styles can be cooperatively specified.
- P&H TripRite system utilizes a brushless DC electric motor with sealed planetary drive unit for reliable trip and slack take up operation.

ELECTRICAL CONTROL SYSTEMS

P&H DIGITAL DC STATIC DC POWER CONVERSION AND REACTIVE POWER COMPENSATION

	Holst**/Propel	Swing	Crowd/Propel
Continuous Armature Converter kW Rating @ 600 VDC*	2x1860 kW	1860 kW	1860 kW
15 Sec. Armature Converter Current Rating*	3700 amp.	3700 amp.	3700 amp.
Continuous Field Converter Rating*	150 amp.	150 amp.	150 amp.

* Rated at 600 V and based on outside ambient temperature of 50°C or 122°F.
** Cascaded hoist converters.

P&H DIGITAL DC AUTOMATIC REACTIVE POWER COMPENSATION*

	60 Hz. (7 step)	50 Hz. (8 step)
Switched Steps	+4725 kVAR Total	+6000 kVAR Total

* Nominal rating at rated capacitor voltage (800 VAC)
* Rated at 600 V and based on outside ambient temperature of 50°C or 122°F.
** Cascaded hoist converters.

P&H DC FAST RESPONSE MAIN MACHINERY MOTORS

Holst Motor (Two used)	Continuous rating @ 600 volts	Total 1887kW/2530hp
	Peak developed power	2770kW/3713hp
Swing Motor (Three used)	Continuous rating @ 550 volts	Total 1119kW/1500hp
	Peak developed power	1340kW/1796hp
Crowd Motor (One used)	Continuous rating @ 550 volts	Total 637kW/720hp
	Peak developed power	530kW/710hp
Propel Motor (Two used)	Continuous rating @ 550 volts	Total 1074kW/1440hp
	Peak developed power	1434kW/1922hp

HOIST

- All gearing housed in single enclosed gear case with filtered oil circulation for reliable splash lubrication and ease of maintenance.
- Large 68" diameter hoist drum for extended rope bending life. Female becket system and dual electric tuggers are standard for efficient rope change.
- Spring set air release disc brakes - one per motor.

CROWD

- Powerband V-belt drive between motor and gear case absorbs shock loads.
- First and second reduction gearing in enclosed gear case for reliable splash lubrication, ease of maintenance, and extended component life.
- Twin leg dipper handle with torsion box and rack and pinion drive has inherent stability in the bank for optimal digging.
- Spring set air release disc brake.

SWING

- Three modular P&H planetary gear cases of proven design and a single piece forged swing gear transmit torque for fast cycle times.
- Spring set air release disc brakes - one per motor.

PROPEL

- Two rugged P&H planetary gear cases of proven design independently transmit torque to the drive sprockets, producing the tractive effort required for fast, efficient propel and positioning operations.
- P&H DELTA Drive low tension sprocket drive system with heavy duty cast crawler shoes.
- Spring set air release disc brakes - one per motor.

POWER REQUIREMENTS

Supply Voltage*	7200 or 13800 V	6000, 6600, 7200 or 11000
	3 Phase, 60 Hz	3 Phase, 50 Hz
Supply Transformer		(Minimum) 3750 kVA
Minimum Short Circuit VA Available at Shovel		30 MVA
*Voltage per customer requirements		
TRANSFORMER		
Main Armature Transformer		3000 kVA
Auxiliaries-Field Transformer		435 kVA
Control/Lighting Supply Winding		50 kVA
Note: Transformer capacities may vary depending on options.		

CABLE DATA

Hoist (wire rope)	70 mm	2.75 in. dia. (std.)
	73 mm	2.87 in. dia. (opt.)
Suspension (bridge strand)	102 mm	4.00 in. dia.
Dipper Trip (wire rope)	19 mm	0.75 in. dia.

Fuente: (Cerro Verde, 2022)

