

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TELEMETRÍA A TRAVÉS DE ANTENAS RADWIN
PARA MEJORAR EL PROCESO DEL MONITOREO
DEL DRENAJE DE AGUAS SUBTERRANEAS DE
UNA EMPRESA MINERA EN CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Lenin Geyser Vasquez Vasquez

Asesor:

Mg. María Elena Vera Correa

<https://orcid.org/0000-0002-1898-0401>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Ana Rosa Mendoza Azañero	45512232
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	Wilson Alcides Gonzales Abanto	70211187
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	Viviana Rojas Gálvez	46951927
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

DEDICATORIA

Con amor y cariño a mi querido hijo Andy, pues él fue mi principal motivación de superación personal y profesional. A mis padres, a mi esposa y a todas las personas que me apoyaron en el camino para lograr mi tan ansiada meta de ser Ingeniero Industrial

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y salud por concederme la protección para lograr mi objetivo profesional y cumplir mis planes de superación de seguir adelante.

Agradezco especialmente a mi madre, esposa y hermanos por el apoyo incondicional que me brindaron, a mi asesora por su paciencia y conocimientos compartidos para poder realizar esta investigación

TABLA DE CONTENIDO

JURADO CALIFICADOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
TABLA DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Hipótesis	4
1.4 Marco teórico	4
1.5.1. Antecedentes.....	4
CAPITULO II METODOLOGÍA.....	7
2.1. Método y alcance de la investigación.....	7
2.2. Nivel de investigación	7
2.3. Población, muestra, materiales	8
2.3.1. Población y Muestra	8
2.3.2. Materiales.....	9
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	9
2.4.1. Métodos utilizados	9
2.5. Procedimiento.....	12
2.6. Diagnóstico de la situación actual del monitoreo del área de drenaje	12

2.6.1. Descripción de la situación Actual del proceso de monitoreo	12
2.7. Proceso y funcionamiento de los equipos que pertenecen al área de drenaje.....	13
2.7.1. Conceptos de los equipos instalados en los sistemas de bombeo	13
2.8. Monitoreo del drenaje de aguas subterráneas.....	23
2.8.1. Monitoreo de parámetros eléctricos	23
2.8.2. Monitoreo de nivel de pozas	25
2.8.3. Monitoreo de flujo	25
2.8.4 Diagnóstico con el diagrama de Ishikawa.....	26
2.9. Implementación del sistema de telemetría.....	30
2.9.1 Automatización del sistema de bombeo sump chaquicocha.....	33
2.9.2. Automatización del sistema de bombeo posa Undegroud.	34
2.9.3. Automatización de sistema de rebombeo TR5	36
2.9.4. Softwares de Programación	38
2.9.5. Sistema de supervisión.....	40
2.9.6 Aspectos éticos	41
CAPITULO III RESULTADOS	43
3.1 Monitoreo Remoto de los sistemas de bombeo	43
3.2. Costo de la implementación del sistema de telemetría por antenas Radwin 2000.....	43
CAPITULO IV DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	49
4.1. Discusión de los resultados.....	49
4.2 Interpretación de los resultados	49
4.3 Comparación de resultados.....	50
4.2. Conclusiones.....	51
REFERENCIAS.....	53
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables-----	6
Tabla 2	Matriz de técnicas de instrumentos -----	11
Tabla 3	Lista de verificación de técnicas e instrumentos -----	11
Tabla 4	Monitoreo de parámetros eléctricos en tableros eléctricos sump chaquicocha -----	24
Tabla 5	Monitoreo de parámetros eléctricos en tableros eléctricos poza underground -----	24
Tabla 6	Monitoreo de parámetros eléctricos en tableros rebombeo TR5 -----	25
Tabla 7	Monitoreo de nivel de pozas -----	25
Tabla 8	Monitoreo de flujo-----	26
Tabla 9	Lista de materiales-----	38
Tabla 10	Costos por actividades -----	42
Tabla 11	Costos por materiales -----	43
Tabla 12	Costos por servicios -----	44
Tabla 13	Comparación de indicadores antes y después de la mejora -----	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del área de drenaje-----	13
Figura 2. Etapa de potencia del variador de frecuencia.-----	14
Figura 3. Arquitectura interna de un controlador lógico programable.-----	16
Figura 4. Electrobomba Flygt.-----	17
Figura 5. Tableros eléctricos.-----	18
Figura 6. Flujómetro electromagnético.-----	20
Figura 7. Relé de monitoreo de temperatura TR 800-----	21
Figura 8. Napa freática del tajo Chaquicocha.-----	22
Figura 9. Perfil hidráulico del tajo Chaquicocha.-----	23
Figura 10. Diagrama de Ishikawa.-----	28
Figura 11. Pirámide de la automatización.-----	29
Figura 12. Detalle de instalación de antenas Radwin.-----	31
Figura 13. Diagrama de actividades para automatización de los sistemas de bombeo.----	32
Figura 14. Automatización del sump chaquicocha-----	34
Figura 15. automatización de poza Underground.-----	35
Figura 16. Automatización de rebombeo TR5.-----	37
Figura 17. Enlace de datos entre antenas.-----	39
Figura 18. Instalación de antenas Radwin 2000 en el tajo Chaquicocha-----	42
Figura 19. Pantalla de monitoreo remoto de Sump Chaquicocha y poza underground.----	46
Figura 20. Pantalla de operación y monitoreo remoto del rebombeo TR5-----	47
Figura 21. Registro de datos del tajo Chaquicocha.-----	48

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad implementar un sistema de telemetría a través de antenas Radwin para mejorar el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de los tajos de explotación de mineral en una empresa minera. ya que actualmente se ve afectado por el acceso restringido hacia el fondo del tajo de los operadores del área de drenaje para realizar monitoreo de los equipos de sistema de bombeo, por riesgo de deslizamiento de taludes en épocas de lluvias. para ello se optó por implementar antenas de comunicación para realizar el monitoreo del drenaje del tajo en tiempo real con la finalidad de mejorar el proceso de monitoreo de la data de flujo bombeado y no exponer al personal de operaciones y mantenimiento a accidentes por riesgo de contacto con electricidad. Para alcanzar este objetivo es necesario implementar antenas Radwin 2000, así como también los variadores de frecuencia existentes Yaskawa de la serie A1000 con protocolo de comunicación Ethernet IP los mismos que serán controlados por el PLC COMPACTOLOGIX 1969 L36 RM compatible con la plataforma de programación estudio 5000 de Rockwell Automation el mismo que se integra al software Factory Talk View Site Edition, esto nos permitirá desarrollar ventanas emergentes HMI en el SCADA de manejo de aguas para facilitar las operaciones de monitoreo de los equipos, tomar el control de todas las variables de flujo y nivel del sistema de bombeo del drenaje de aguas de lluvia y aguas subterráneas de los tajos.

PALABRAS CLAVES: Monitoreo, Telemetría, antenas Radwin, Controlador Lógico Programable, Aguas subterráneas.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

En la actualidad los sistemas de telemetría son ampliamente utilizados en diversas industrias, en muchos países, ya que otorgan la posibilidad de monitorear o medir parámetros y procesos, en el menor tiempo posible, con la finalidad de brindar información suficiente para identificar oportunidades de mejora y una buena toma de decisiones; más aún, son de especial interés en entornos complejos, como en el caso de la minería subterránea, donde el margen de error en las actividades debe ser mínimo (Torres, 2021).

La automatización por telemetría se ha convertido en una estrategia fundamental en todos los sectores de la industria con la finalidad de supervisar y controlar las distintas variables que se presentan en un proceso para ello se deben utilizar diversos softwares de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, que le permiten al operador tener acceso completo al proceso mediante su visualización en una pantalla de un computador en tiempo real (Lopez, 2015).

El sistema de telemetría se realiza normalmente mediante comunicación inalámbrica pero también se puede realizar a través de otros medios como: teléfono, redes de ordenadores, enlace de fibra óptica, entre otros. La telemetría es usada en áreas muy diversas que va desde el automovilismo, aviación, astrología, pasando por la agricultura, industria de petróleo, medicina y hasta biología (Aquilino, 2007)

Todas las empresas mineras se ven afectadas por el agua en temporadas de lluvias asimismo también por el agua que es filtrada del subsuelo interrumpiendo varios procesos como la perforación de producción, paralizando el trabajo y generando pérdidas económicas muy significativas y tiempos perdidos los cuales afectan directamente la

producción. A causa de las fallas constantes que tienen las bombas sumergibles al momento de bombear el agua de forma fiable de las zonas en explotación todo esto debido a que no cuentan con la aplicación de un sistema de control adecuado (Sánchez & Correa).

En Perú, existen también algunas empresas mineras, principalmente de operación a cielo abierto, que han implementado este tipo de sistemas, especialmente orientadas al monitoreo del estado de vehículos y sistemas de bombeo de agua; en provincias como Ancash, Pasco y Lima (Torres, 2021).

En zonas como Cajamarca la mayoría de proyectos mineros a cielo abierto presenta en sus diferentes procesos problemas con su sistema de bombeo tal es el caso de las empresas mineras quienes están encargada del mantenimiento e instalación de bombas sumergibles a pozos profundos en operaciones de un proyecto minero, que a causa de las lluvias constantes y las condiciones hidrológicas que se presentan en los diferentes frentes de trabajo se ven afectados por la filtración de agua con un elevado caudal , generando costos de operación y en algunos casos paralizando procesos como perforación y otros trabajos, además de afectar los avances en los frentes de producción debido a que no se cuenta con un sistema de control por telemetría permitiendo de esta manera que los equipos sean monitoreados con mayor eficiencia (Erick Franklin & Ronald Javier, 2019).

Por tal razón, es importante un sistema de monitoreo inalámbrico que permita estas mediciones sin necesidad de desplazarse al sitio, o tener personal, tomando muestras en las plantas de producción (Peñuela, 2019).

La empresa minera que opera a tajo abierto a 3800 msnm tiene el área de drenaje en estudio la cual está constituida por 2 sub áreas. Área manejo de aguas y área de mantenimiento de servicios mina, las cuales son encargadas de la operación y el

mantenimiento de los sistemas de bombeo en las diferentes estructuras de la mina. Para garantizar una correcta operación de los equipos se cuenta con operadores que se transportan en una camioneta desde la base de la quinua complex hacia el tajo chaquicocha para monitorear de manera constante el nivel de las pozas, el flujo de descarga de las electrobombas y el funcionamiento de los sistemas de bombeo. En épocas de lluvia los niveles de agua de los tajos se incrementan y el acceso hacia el fondo del tajo está restringido debido a que los taludes presentan deslizamiento y caídas de rocas y está prohibido el ingreso de los operadores y el personal de mantenimiento hacia el fondo del tajo por riesgo de atrapamiento por deslizamiento de taludes. Los sistemas de drenaje del tajo chaquicocha no se pueden quedar sin bombear debido a que la empresa minera tiene un proyecto de exploración por minería subterránea en el nivel 3628, según su estudio de impacto ambiental tiene el compromiso de bombear 510 L/S desde el tajo chaquicocha hacia las plantas de tratamiento de aguas acidas y así garantizar la disponibilidad del recurso hídrico para cumplir su compromiso con las comunidades de la zona de influencia. Debido a este problema de no poder realizar el monitoreo de manera local se optará por la implementación de un sistema de telemetría por antenas Radwin con la finalidad de mejorar el proceso de monitoreo de los sistemas de bombeo de manera remota.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo el sistema de telemetría a través de antenas Radwin mejora el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera en Cajamarca?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar el sistema de telemetría a través de antenas Radwin para mejorar el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera en Cajamarca.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del proceso de monitoreo de drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera en Cajamarca.
- Diseñar e implementar el sistema de telemetría a través de antenas Radwin para mejorar el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera en Cajamarca.
- Evaluar los resultados de la implementación del sistema de telemetría en el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera en Cajamarca.

1.4 Hipótesis

El sistema de telemetría a través de antenas Radwin mejora favorablemente el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera en Cajamarca.

1.4 Marco teórico

1.5.1. Antecedentes

En base a lo mencionado en su tesis (**Zamora, 2018**) cuyo título es “Diseñar Sistema de Automatización por telemetría en la Planta de Tratamiento de Agua y Estanques de Distribución de la Escuela de Grumetes Alejandro Navarrete Cisternas” tuvo como objetivo general desarrollar una propuesta para implementar un sistema de supervisión y control automático que permita optimizar el recurso hídrico, el ahorro de consumo de energía y aumentar la vida útil de las

electrobombas. La investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia desde la recopilación bibliográfica y selección de dispositivos adecuados para la implementación en terrenos de difícil acceso. En esta investigación se llegó a las siguientes conclusiones: la implementación de los PLC, Radio Modem, Sensores y Actuadores que brindan un monitoreo remoto eficiente del sistema de bombeo de agua potable desde una sala de control, que en comparación a la operación de manera manual es más rentable a largo plazo.

- **(Sedano, 2018)** manifiesta en su tesis titulada “Influencia de la automatización por telemetría en el sistema de bombeo de agua potable en la minera Corihuarmi, Yauyos Lima 2018” encontró que la automatización por telemetría es más factible y viable económicamente en el sistema de bombeo. Factible porque es una propuesta operativa donde considera equipos con especificaciones básicas para así lograr controlar las pérdidas hídricas. Viable económicamente porque según el estudio de los costos asociados a pérdidas hídricas son eficientes porque el monto invertido en la implementación es recuperable en un periodo de tiempo a largo plazo de 10 años
- **(Erick Franklin & Ronald Javier, 2019)** manifiestan en sus tesis de “Aplicación de un sistema SCADA RSVIEW32 para la automatización de bombas sumergibles en una mina a cielo abierto, Cajamarca 2019” encontraron que un sistema de control automatizado por telemetría para los equipos sumergibles (bombas y motores) de pozos profundos, permite un monitoreo constante de su funcionamiento detallado, así mismo también detectar las fallas en los parámetros eléctricos que se presenten durante el bombeo del drenaje de aguas subterráneas de

los tajos de extracción de minerales, para facilitar los trabajos de minado y voladura.

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Sistema de telemetría por antenas. (Variable independiente)	La telemetría es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el envío de la información hacia una central de monitoreo (Tech, 2017).	Estructuras automatizadas por telemetría	% de operatividad de las estructuras automatizadas por telemetra
Proceso de monitoreo del drenaje aguas subterráneas (Variable dependiente)	Tomar el control en tiempo real de manera constante el funcionamiento del sistema de bombeo de aguas subterráneas para evitar la inundación. Y bajar el nivel freático (Pacheco, 2016).	Monitoreo de parámetros eléctricos	% de monitoreo de los parámetros eléctricos
		Monitoreo del nivel de las pozas de aguas acidas	% de nivel de las pozas
		Monitoreo del flujo bombeado en la descarga de las electrobombas.	% de flujo de descarga

Nota. Esta tabla muestra las variables en estudio en donde me centrare en la investigación para cumplir el objetivo de implementar un sistema de telemetría por antenas Radwin.

CAPITULO II METODOLOGÍA

2.1. Método y alcance de la investigación

Sedano (2018) menciona que el método de investigación científica es del tipo inductivo-deductivo, el cual está conformado por dos procedimientos inversos que se complementan mutuamente: mediante la inducción se han establecido generalizaciones a partir de lo común en hechos reales del sistema de drenaje de la empresa minera, luego a partir de esa generalización se ha deducido conclusiones lógicas, que mediante la inducción se ha traducido a generalizaciones enriquecidas.

- Premisa 1: Los sistemas de bombeo controlado de manera manual generan paradas constantes que hace que el nivel del sump chaquicocha se eleve.
- Premisa 2: Para que exista inundación en el túnel de exploración, las 6 bombas no funcionaron al 100% de su capacidad debido a fallas por exceso de temperatura en el estator y los rodamientos.
- Premisa 3: Las pérdidas materiales por inundación en el túnel de exploración son considerable ya que ascienden a un millón de soles aproximadamente debido a un sistema de monitoreo local, lo que hace que en épocas de lluvia no se realice el monitoreo por alerta geotécnica y deslizamiento de taludes.
- Generalización: Un sistema de bombeo de accionamiento manual es limitado por que debido a las condiciones de deslizamiento de taludes en el área de trabajo el acceso es restringido para ingresar hacia el fondo del tajo a realizar el monitoreo de los sistemas de bombeo del área de drenaje de la empresa minera

2.2. Nivel de investigación

- **Aplicada**

Una investigación aplicada brinda la solución a un problema determinado y específico. (Oblitas, 2018) La presente investigación se centró en estudiar la solución al problema del sistema de monitoreo local del drenaje de aguas subterráneas a partir de la implementación del sistema de telemetría por antenas Radwin 2000.

- **Diseño de la investigación**

La investigación de diseño experimental, ya que se realiza un estímulo en la variable de estudio (Sampieri, 2017).

El siguiente trabajo de investigación que se está realizando se desarrollara con el diseño y la implementación de un sistema de telemetría para monitorear de manera remota los parámetros eléctricos de las electrobombas, el nivel de las pozas y el flujo bombeado del sistema de drenaje del tajo chaqui cocha de una empresa minera

- **Según la Naturaleza de Datos**

La investigación es mixta, ya que hace uso de la investigación cuantitativa que es aquella en la que se recogen y analizan datos de las variables de estudio y cualitativa, que busca darla una caracterización y comprender a la variable (Oblitas Cruz, 2018).

2.3. Población, muestra, materiales

2.3.1. Población y Muestra

Para el estudio se consideró la población igual a la muestra, porque trabajamos con la totalidad de las estructuras del tajo Chaquicocha que son involucradas en el sistema de bombeo de aguas subterráneas del tajo de extracción de minerales, en este caso son 3 donde se implementara las antenas Radwin 2000.

La muestra ha sido elegida por conveniencia es considerada como una muestra no probabilística (Oblitas Cruz, 2018). Los datos son constituidos por las estructuras que tienen mayor número de paradas y baja disponibilidad del sistema de bombeo.

2.3.2. Materiales

- Material bibliográfico, relacionada a la importancia en los procesos de monitoreo a distancia y la implementación de sistemas de telemetría por antenas.
- Laptop con sistema operativo de 64 bits, memoria RAM de 16 Gb, tarjeta de video incorporada; Core I5 decima generación.
- Útiles de escritorio: libreta de apuntes, Papel bond, lapiceros y folder
- USB y disco portátil para el almacenamiento de información electrónica.
- Impresora Brother 510.
- Formatos de inspección
- Camioneta pick up 4x4 doble cabina.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.4.1. Métodos utilizados

2.4.1.1 Técnicas de recolección datos.

Para la elaboración de la siguiente tesis me centre básicamente en utilizar las siguientes técnicas:

- **Entrevista.** Estuve en constante comunicación con los operadores y supervisores del área de drenaje y mantenimiento servicios mina para que me brinden la información con respondiente del funcionamiento de los sistemas de bombeo del área de drenaje del tajo chaqui cocha.
- **Observación.** Para poder desarrollar la tesis e encontrado falencias donde desconocía el perfil hidráulico del drenaje del tajo chaqui cocha y por cuantos sistemas de bombeo estaba constituido.

2.4.1.2 Análisis de Datos.

Para el análisis de datos se procedió a la recolección de toda la información de la realidad problemática en contrada en el área de drenaje del tajo chaquicocha y darle una solución específica determinando la posibilidad del diseño y la implementación de un sistema de telemetría a través de antenas Radwin.

2.4.1.3 Instrumentos de recolección de datos

Para la elaboración de la siguiente tesis me centrado básicamente en utilizar

- **Check list de inspección de funcionamiento de los sistemas de bombeo**
Estos check list me ayudo a verificar el monitoreo de la cantidad de electrobombas y tableros de cada sistema de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha que estén operativos.
- La técnica más usada fue el de análisis de paradas de los sistemas de bombeo y su posterior interpretación, esto debido a que la mayoría de los datos que se analizaron en los check list de inspección, bases históricas almacenados en los diferentes sistemas que maneja el área de manejo de aguas y el área de servicios de la empresa minera.
- Además, se revisó la información de la data de monitoreo de manera local de los sistemas de bombeo almacenada diariamente en el sistema en archivos en Excel que es administrado y actualizado por el área mantenimiento y el área de manejo de aguas, donde se verifico que las estructuras de bombeo del tajo chaquicocha presentan un elevado número de paradas por fallas en los equipos y dificultad para monitorear los niveles de las pozas y flujo de descarga de las electrobombas.

Tabla 2
Matriz de técnicas de instrumentos

Objetivo Específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica
Implementar el sistema de telemetría a través de antenas Radwin para mejorar el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de una empresa	Monitoreo de la temperatura de los motores Monitoreo de las variables críticas del proceso Nivel, flujo	Revisión Document al Check list de inspección	Formato de reportes de monitoreo de quipos, fallas por temperatura Formato de informe porcentaje de nivel de las pozas	Influencia de la automatización por telemetría en el sistema de bombeo de agua potable en la minera (Sedano, 2018)

Nota. En la Tabla 2, se muestran las técnicas e instrumentos utilizados para la recopilación de información para la presente investigación.

Tabla 3
Lista de verificación de técnicas e instrumentos

Preguntas generales	SI/NO	Acciones por tomar
¿Se cuenta con acceso a la información?	SI	
¿Contamos con la información del número de paradas de los equipos por arranque de manera local?	SI	
¿Se cuenta con la información del número de horas de operación de cada electrobomba?	NO	Se tiene mapeado el funcionamiento de cada electrobomba de manera global, mas no cuenta con un horómetro donde se registra el número de horas trabajadas por cada electrobomba
¿Se cuenta con la información de todas las variables eléctricas donde el variador de frecuencia toma el control?	NO	Se tiene acceso de manera local a 2 parámetros básicos frecuencia y corriente, mas no al voltaje, tensión en el bus DC potencia, y parámetros básicos de estatus.
¿Contamos con el porcentaje de flujo descargado por los equipos de bombeo?	SI	
¿El porcentaje de nivel topográfico de las pozas nos ayuda a dar una confiabilidad para la calibración del sensor de nivel ultrasónico?	SI	
¿La información que se encuentra en los registros es significativa y útil para el desarrollo del trabajo?	SI	

Nota. esta tabla muestra la técnica de instrumentos utilizados para acceder a la información de los sistemas de bombeo del área de drenaje de la empresa minera.

2.5. Procedimiento

Dentro del procedimiento desarrollado para la elaboración de mi tesis se va a detallar conceptos básicos, elaboración de planos, lectura e interpretación de manuales donde daré a conocer todos los procedimientos que se ha utilizado para llegar a nuestro objetivo final.

2.6. Diagnóstico de la situación actual del monitoreo del área de drenaje

Es el proceso de averiguar cómo funciona la compañía en el momento actual y de recabar la información necesaria para diseñar las intervenciones del cambio, tal como lo recomienda (Huilcapi & Gallegos, 2020).

2.6.1. Descripción de la situación Actual del proceso de monitoreo

Se realizó un diagnóstico del área de drenaje de la empresa minera para observar e identificar los problemas y encontrar soluciones en los procesos de monitoreo del sistema de bombeo de aguas ácidas y encontrar oportunidades de mejora.

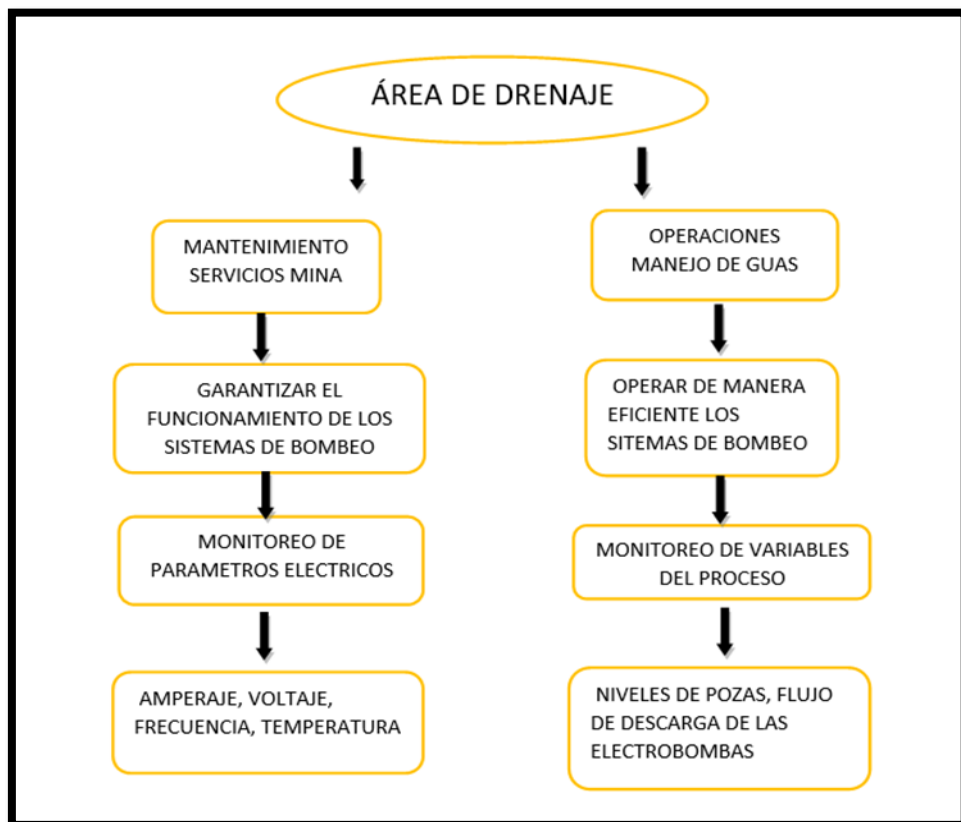
- Se observó que las estructuras del sistema de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha no cuentan con un sistema de telemetría que les permita realizar el proceso de monitoreo de manera remota
- Se viene realizando el monitoreo de los sistemas de bombeo de manera local. Lo que representa un riesgo hacia los operadores debido a que en épocas de lluvia el riesgo de deslizamiento de los taludes aumenta y su acceso es restringido hacia el fondo del tajo.
- En algunas ocasiones el nivel del agua en las pozas y los tanques rebosan por errores de operación.
- Electrobombas que por falta de nivel de agua trabajan en vacío.

- Las estructuras que conforman el sistema de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha son las siguientes:

- Sumidero tajo chaquicocha
- Poza underground
- Tanques de rebombeo TR5.

Figura 1

Diagrama de flujo del área de drenaje



Nota. La figura 1 nos muestra el diagrama de flujo de operaciones del área de drenaje, que está compuesta por 2 sub áreas Operaciones manejo de aguas y mantenimiento servicios mina. Elaboración propia.

2.7. Proceso y funcionamiento de los equipos que pertenecen al área de drenaje

2.7.1. Conceptos de los equipos instalados en los sistemas de bombeo

- Variador de frecuencia

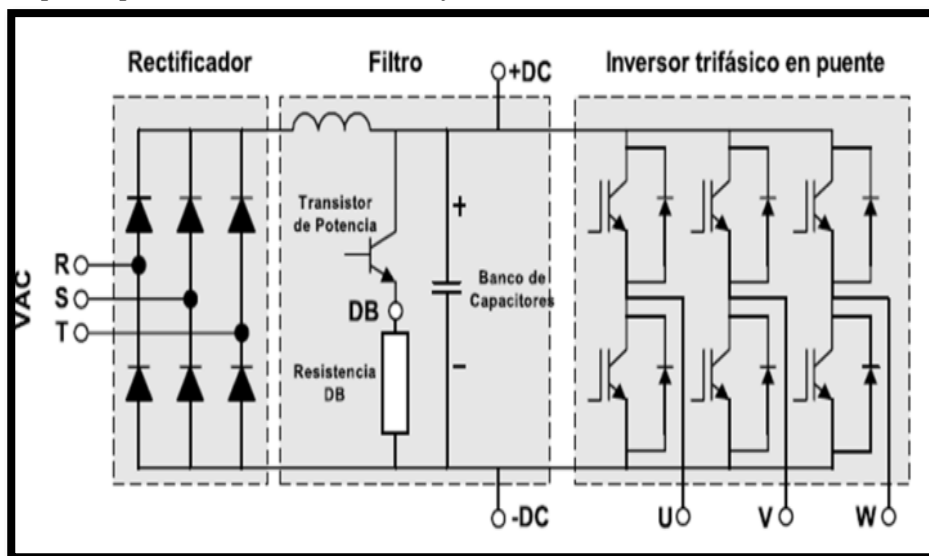
“Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor”, los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar

la velocidad y la acopla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables” (Suarez, 2017). Los variadores de frecuencia son compuestos por electrónica de potencia, pueden realizar el arranque de motores con rampa de encendido y apagado y variar la velocidad de acuerdo al proceso requerido.

Los componentes principales de un variador de frecuencia constan de:

- Diodos SCR: Puente diodos convertidores de tensión alterna a continua
- Filtro LC: Cuya función principal es suavizar el rizado de la tensión rectificada y de reducir armónicos Asia la red.
- Inversor: Convierte el voltaje continuo del circuito intermedio en uno de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Los variadores modernos emplean IGBT para generar los pulsos de voltaje de manera controlada.
- Circuito de control: el circuito de control enciende y apaga los IGBT para general los pulsos de tensión y frecuencia variable. Además, realizan las funciones de supervisión monitoreando la corriente, el voltaje la temperatura con teclados amigables HMIs.

Figura 2
Etapa de potencia del variador de frecuencia



Nota. La figura muestra los principales componentes electrónicos de la etapa de potencia de un variador de frecuencia. Elaboración propia.

- Controlador lógico programable

“Es un sistema de control industrial, basado, en una computadora que usa instrucciones de programación para tomar decisiones de encendido y apagado, esto es para evitar realizar conexiones de lógica alambrada por medio de relevadores” (Martinez, 2015).

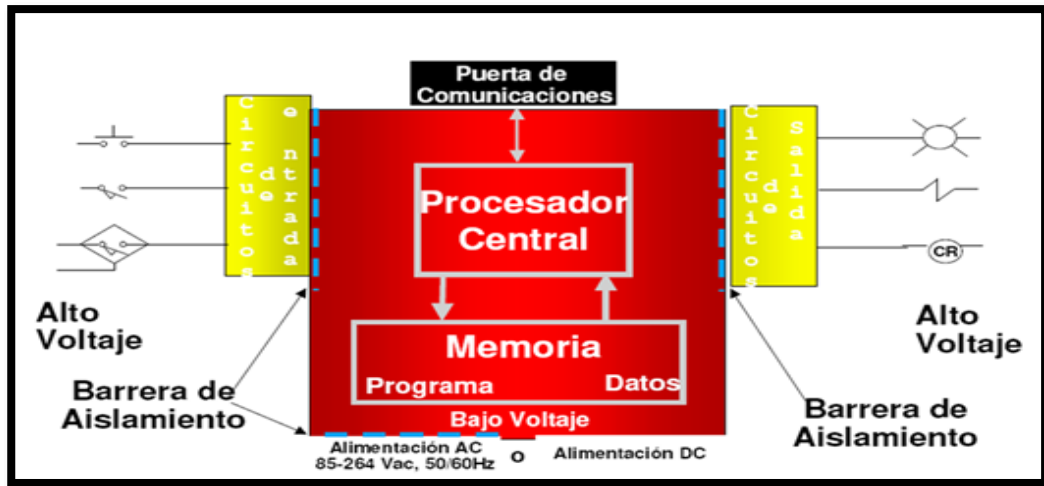
- Los controladores realizan funciones de control en procesos industriales secuenciales basado en tiempo real.

- El manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimiento informáticos.

- Al utilizar un controlador lógico programable se reduce el trabajo del usuario al realizar el programa, por la relación que existe entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida, debido a que los elementos como relés auxiliares de enclavamiento, temporizadores y contadores son internos.

- Los controladores lógicos programables satisfacen las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Regula variables de proceso como presiones, temperaturas, niveles y caudales, así como todas las funciones asociadas a la temporización, conteo y lógica

Figura 3
Arquitectura interna de un controlador lógico programable



Nota. la imagen nos muestra de cómo está constituido un controlador lógico programable que cuenta con el procesador y las tarjetas de entradas y salidas digitales o análogas.

- **Electrobomba**

“Una electrobomba viene a ser el conjunto de un motor eléctrico y una bomba centrífuga adaptadas dentro de una misma carcasa formando de esta manera un solo bloque o conjunto que permite reducir sus dimensiones totales aumentando sus prestaciones de operación y aplicación para la misma potencia consumida” (Pablo & Rafael, 2020).

Figura 4

Electrobomba Flygt.



Nota. La electrobomba de la Figura 4, es de la Marca Flygt, modelo 2400.402, una de las más utilizadas dentro de la operación minera debido a que es sumergible y robusta, así como que permite trabajar en condiciones de alta concentración de sólidos de hasta un 10% y abrasivos.

- Tablero eléctrico

Los tableros de control eléctrico son aquellos paneles donde se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de control de una instalación eléctrica. Debido a que los motores manejan grandes potencias, se hace necesario contar con un mecanismo de protección y supervisión que permitan controlar y monitorear variables de operación como: Consumo de corriente, corrientes parásitas, estabilidad frecuencias, rampas de arranque y apagado de los motores entre otros. De la misma manera permite proteger el motor eléctrico si se producen problemas dentro del contexto operativo como son: Elevación de temperatura de operación, sobre corrientes y arranques muy frecuentes que podrían quemar las bobinas del motor eléctrico. (Pablo & Rafael, 2020).

Figura 5
Tableros eléctricos



Nota. la imagen nos muestra la parte física de los tableros eléctricos utilizados en la unidad minera para el arranque de los diferentes tipos de electrobombas que son instaladas en las pozas del sistema de bombeo del drenaje de aguas subterráneas.

- **Transmisor de nivel**

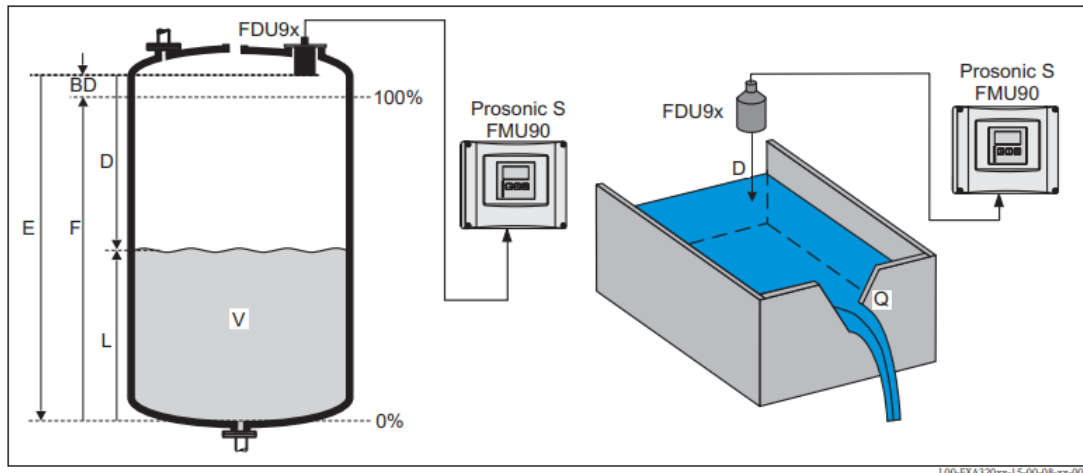
Los transmisores de nivel son sensores con una salida de transmisión eléctrica para indicación remota del nivel de líquido, polvo o volumen. Los modelos capacitivos, flotantes, mecánicos, sumergibles, ultrasónicos y radar son los diferentes tipos disponibles de transmisores de nivel, la aplicación de sus transmisores detalla lo siguiente: (Hendres & hauser, 2006)

Medición de nivel continua y no invasiva de fluidos, pastas, lodos y materiales sólidos pulverulentos o granulados con uno o dos sensores de ultrasonidos

Rango de medida hasta 70 m (según el tipo de sensor y material que se mida)

- Detección de nivel límite (hasta 6 relés)
- Control de bombas (alterno)
- Control de filtros y rejillas
- Cálculos: promedio, diferencia, suma.

Figura 7
Transmisor de nivel



Nota. La imagen muestra el funcionamiento del transmisor de nivel ya la programación de sus parámetros básicos

- Transmisor de flujo electromagnéticos

Los transmisores están basados en un microprocesador y disponen de una pantalla alfanumérica en varios idiomas. El principio de medición de caudal se basa en la ley de Faraday de la inducción electromagnética. Las bobinas están montadas diametralmente en el tubo a medir generando un campo electromagnético pulsado. El líquido que fluye a través de este campo electromagnético induce un voltaje. Los transmisores evalúan las señales de los sensores electromagnéticos asociados, luego las convierten en señales estándar apropiadas (por ejemplo, de 4 a 20 mA) y realizan también la función de una unidad de alimentación que proporciona una corriente constante a las bobinas. El transmisor consta de una serie de bloques de función que convierte el voltaje del sensor en lectura de caudal. (Siemens, 2020).

Aplicaciones: Los caudalímetros magnéticos alimentados con corriente DC pulsante son aptos para medir el caudal de casi todos los líquidos, pastas y lodos

que conducen la electricidad (contenido máx. de sólidos 40%). En los siguientes sectores se utilizan la mayoría de aplicaciones:

- Agua y aguas residuales
- Industria química y farmacéutica
- Industria de alimentos y bebidas
- Industrias de minería y cemento
- Industria papelera y de celulosa
- Siderurgia
- Generación de energía, industria de agua refrigerada y de suministro de agua

Figura 6
Flujómetro electromagnético



Nota. La imagen nos muestra el transmisor de nivel incorporado al carrete, ya que con este transmisor se realiza la medición de flujo bombeado en el área de drenaje.

- Transmisores de temperatura relé universal TR 800 Web

Relé para supervisión de valores límite con capacidad Web, con interfaz Ethernet y 8 entradas para sensores de temperatura u otras señales analógicas. El TR 800 Web se puede conectar con la Intranet o la Internet y se puede operar y consultar de forma sencilla desde un PC mediante el protocolo TCP/IP, utilizando para ello

un navegador de Internet adecuado (se ha probado con Windows IE 7, 8 y Firefox 3). Para su manejo no se requiere ningún software adicional ni conocimientos previos. Los relés universales TR 800 Web supervisan y protocolizan simultáneamente hasta 8 señales de entrada diferentes. A cada uno de los 4 relés de salida se le pueden asignar hasta 8 valores límite, uno por entrada, respectivamente.

Figura 7

Relé de monitoreo de temperatura TR 800



Nota. la figura nos muestra el relé para monitorear temperatura por protocolo de comunicación ethernet en tiempo real.

- Capa Freática

La capa freática viene a ser la acumulación de agua subterránea que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo. Prácticamente es un acuífero y son los más expuestos a la contaminación proveniente de la superficie. Suele estar limitada por dos superficies; la inferior suele ser un estrato de terreno impermeable a una profundidad más o menos grande. Por encima hay una zona saturada, que viene a ser la capa freática en sí, cuyo límite superior puede ser un estrato impermeable o no, siendo éste el límite llamado nivel freático. El plan de minado considera bajar el nivel de la capa freática conforme

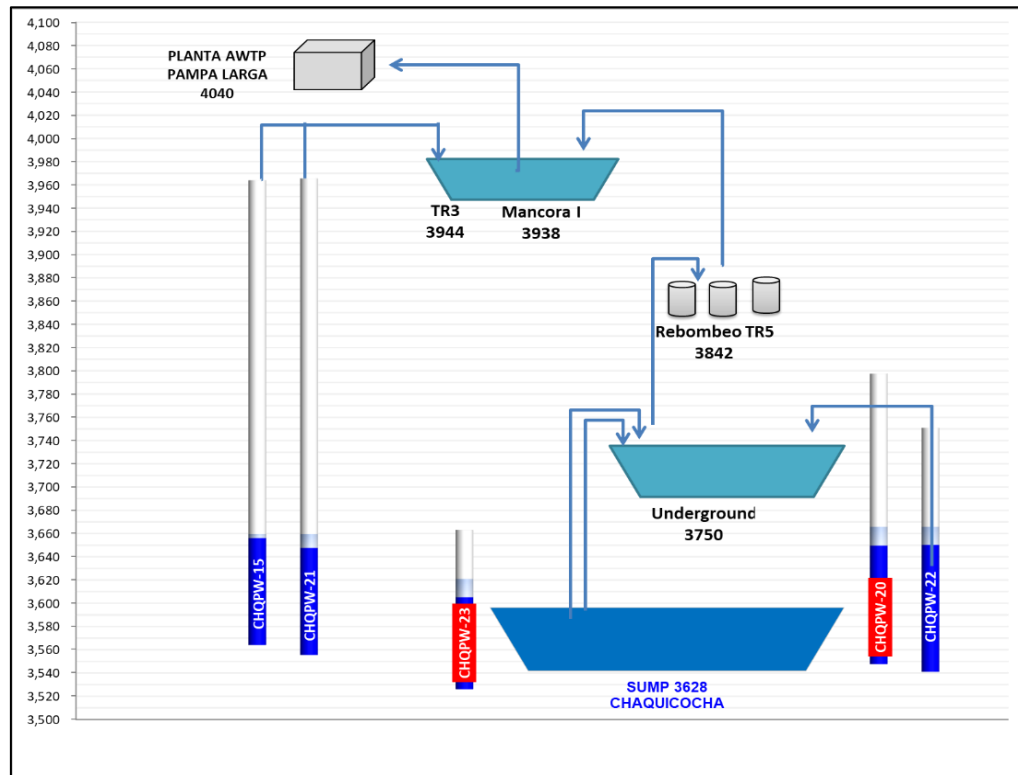
se vaya realizando el movimiento de tierra con maquinaria pesada, siendo importante evaluar cuál es el comportamiento o recuperación del agua subterránea (Pablo & Rafael, 2020).

Figura 8
Napa freática del tajo Chaquicocha



Nota. la imagen nos muestra el nivel de la capa freática del tajo chaquicocha, en épocas de lluvia tiende a aumentar. Toma propia

Figura 9
Perfil hidráulico del tajo Chaquicocha.



Nota. La figura muestra las etapas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha, desde el sump chaquicocha hacia la planta de tratamiento AWTP de pampa larga.

2.8. Monitoreo del drenaje de aguas subterráneas

2.8.1. Monitoreo de parámetros eléctricos

El monitoreo de los parámetros eléctricos en los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha se realizan de manera local, la cual es una actividad planificada por el área de planeamiento que genera una orden para el respectivo monitoreo, que consta de verificar en campo los parámetros eléctricos críticos en el funcionamiento de las electrobombas.

Tabla 4
Monitoreo de parámetros eléctricos en tableros eléctricos sump chaquicocha

CODIGO DE TABLEROS	PARAMETROS ELECTRICOS		TEMPERATURA	RTD1	RTD2	RT D3	RT D4
TAB:144	Amperios	154	Min	40 C°	37 C°		
	Hertz	58	Max	95 C°	89 C°		
			Seteo	100			
TAB:104	Amperios	150	Min	55 C°	37 C°		
	Hertz	56	Max	90 C°	89 C°		
			Seteo	100			
TAB:101	Amperios	153	Min	60 C°	55 C°		
	Hertz	58	Max	98 C°	89 C°		
			Seteo	100			
TAB:146	Amperios	152	Min	40 C°	37 C°		
	Hertz	57	Max	95 C°	89 C°		
			Seteo	100 C°			
TAB:019	Amperios	154	Min	60 C°	55 C°		
	Hertz	60	Max	98 C°	89 C°		
			Seteo	100			
TAB:067	Amperios	153	Min	55 C°	37 C°		
	Hertz	58	Max	89 C°	89 C°		
			Seteo	100 C°			

Nota. La tabla 4 muestra los resultados del monitoreo de parámetros eléctricos de la estructura sump Chaquicocha de manera local.

Tabla 5
Monitoreo de parámetros eléctricos en tableros eléctricos poza underground

CODIGO DE TABLEROS	PARAMETROS ELECTRICOS		TEMPERATURA	RTD1	RTD2	RTD3	RTD4
TAB:169	Amperios	154	Min	42 C°	39 C°	45 C°	43 C°
	Hertz	58	Max	96 C°	45 C°	99 C°	96 C°
			Seteo	100			
TAB:018	Amperios	150	Min	55 C°	37 C°	23 C°	67 C°
	Hertz	56	Max	90 C°	89 C°	89 C°	92 C°
			Seteo	100			
TAB:102	Amperios	153	Min	60 C°	55 C°	28 C°	45 C°
	Hertz	58	Max	98 C°	89 C°	85 C°	94 C°
			Seteo	100			
TAB:173	Amperios	152	Min	40 C°	37 C°	37 C°	43 C°
	Hertz	57	Max	95 C°	89 C°	85 C°	98 C°
			Seteo	100 C°			

Nota. La tabla 5 muestra los resultados del monitoreo de parámetros eléctricos de la estructura poza underground de manera local.

Tabla 6
Monitoreo de parámetros eléctricos en tableros rebombeo TR5

CODIGO DE TABLEROS	PARAMETROS ELECTRICOS	TEMPERATURA	RTD1	RTD2	RTD3	RTD4	
TAB:147	Amperios	154	Min	44 C°	36 C°	23 C°	67 C°
	Hertz	58	Max	95 C°	89 C°	89 C°	92 C°
			Seteo	100			
TAB:036	Amperios	150	Min	55 C°	37 C°	37 C°	43 C°
	Hertz	56	Max	90 C°	89 C°	85 C°	98 C°
			Seteo	100			
TAB:193	Amperios	153	Min	60 C°	55 C°	28 C°	45 C°
	Hertz	58	Max	98 C°	89 C°	85 C°	94 C°
			Seteo	100			

Nota. La tabla 6 muestra los resultados del monitoreo de parámetros eléctricos de la estructura tanques de rebombeo TR5 de manera local.

2.8.2. Monitoreo de nivel de pozas

El monitoreo del nivel de las pozas del sistema de drenaje se monitorea de manera constante para evitar reboses o que las electrobombas trabajen en vacío.

Tabla 7
Monitoreo de nivel de pozas

HORARIO	08:00 AM	11:00 AM	02:00 PM	05:00 PM
SUMP CHAQUICOCCHA	100%	100%	100%	100%
POZA UNDERGROUND	98%	97%	98%	95%
TANQUE POS 1	80%	65%	70%	78%
TANQUE POS 2	80%	82%	86%	78%
TANQUE POS 3	70%	75%	80%	85%
POZA MANCORA 1	50%	50%	50%	50%
POZA MANCORA 2	80%	87%	86%	85%

Nota. La tabla 7 muestra los resultados del monitoreo de los niveles de las pozas y tanques del sistema de drenaje del tajo chaquicocha de manera local.

2.8.3. Monitoreo de flujo

El monitoreo del flujo se monitorea en los flujómetros instalados en la descarga de las electrobombas del sump chaquicocha para garantizar que las electrobombas si están trabajando al 100% de su capacidad.

Tabla 8

Monitoreo de flujo

HORARIO	08:30 AM	11:30 AM	02:30 PM	05:30 PM
FLUJOMETRO 1	200 l/S	202 l/S	204 l/S	208 l/S
FLUJOMETRO 2	230 l/S	225 l/S	220 l/S	222 l/S

Nota. La tabla 8 muestra los valores de los flujómetros de la descarga de sump chaquicocha hacia poza Underground

2.8.4 Diagnóstico con el diagrama de Ishikawa

Se realizó reuniones con participación masiva del área de mantenimiento servicios mina y operaciones manejo de aguas preguntándose por qué se inundó el túnel de exploración de minería subterránea en el nivel 3628 como lo muestra la imagen 10, por paradas de los sistemas de bombeo del tajo chaquicocha, y las restricciones al ingreso de los operadores hacia el fondo del tajo por deslizamientos de taludes en épocas de lluvia y alerta geotécnica.

Como resultado se determinó las causas probables que acontecieron por dificultad en realizar la inspección de manera local de las estructuras de los sistemas de bombeo que se especifican en el anexo 1, lo cual conlleva a no poder realizar el monitoreo de parámetros eléctricos que se muestran en la tabla 5,6 y 7 así como también la dificultad de monitorear de manera local el flujo y los niveles que se muestra en las tablas 8 y 9 de las pozas del sistema de drenaje del tajo chaquicocha.

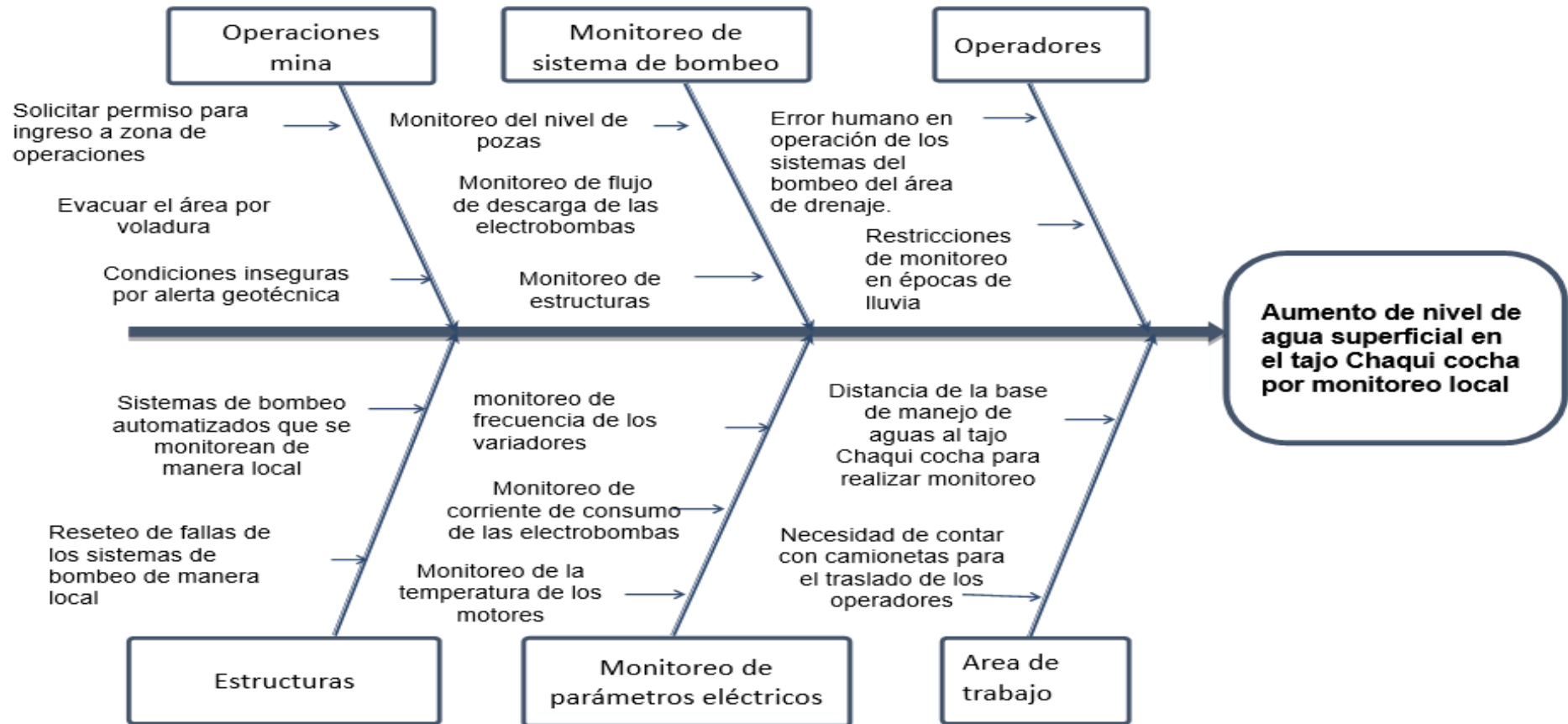
Para el análisis causa-efecto se utilizó el diagrama de Ishikawa, permitiendo determinar las causas de los problemas que afectan a los sistemas de bombeo.

Con los datos del formato de inspecciones en el anexo 1 y las tablas 5,6,7,8 y 9 se realiza el análisis de causa-efecto en el diagrama de Ishikawa, tal como se muestra en la figura 12, donde se analiza los factores operadores, Área de trabajo, Monitoreo

de sistemas de bombeo de manera local, monitoreo de parámetros eléctricos de manera local, estructuras e ingreso a operaciones mina.

Así de esta manera se identificó las causas principales que originaron que el nivel del sump chaquicocha aumenté e inundé el túnel de exploración de minería subterránea en el nivel 3628.

Figura 10
Diagrama de Ishikawa.



Nota. la figura 10 muestra el diagrama de Ishikawa del análisis de la causa raíz del aumento del nivel del tajo chaquicocha

Con el análisis del diagrama de Ishikawa se llega a la conclusión de que la

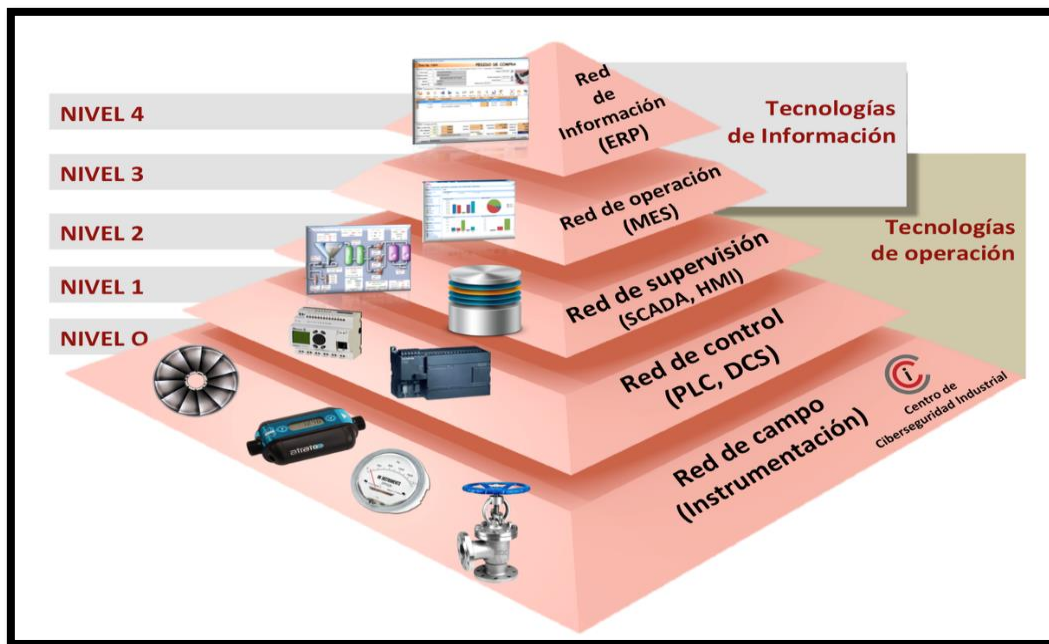
causa principal para que aumente el nivel del agua subterránea en el tajo chaquicocha es la falta de un sistema de telemetría que permita mejorar el proceso de monitoreo de manera remota del drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera.

Pirámide de la automatización.

Debido al análisis de la problemática y mediante el diagrama causa-efecto (Ishikawa), se decidió por un sistema de telemetría por antenas. Tomando como base la pirámide de automatización, se utilizará una solución compuesta por sensores, variadores de frecuencia, PLC, antenas Radwin y un sistema SCADA para el control y supervisión remoto por parte de los operadores del área de manejo de aguas.

Figura 11

Pirámide de la automatización.



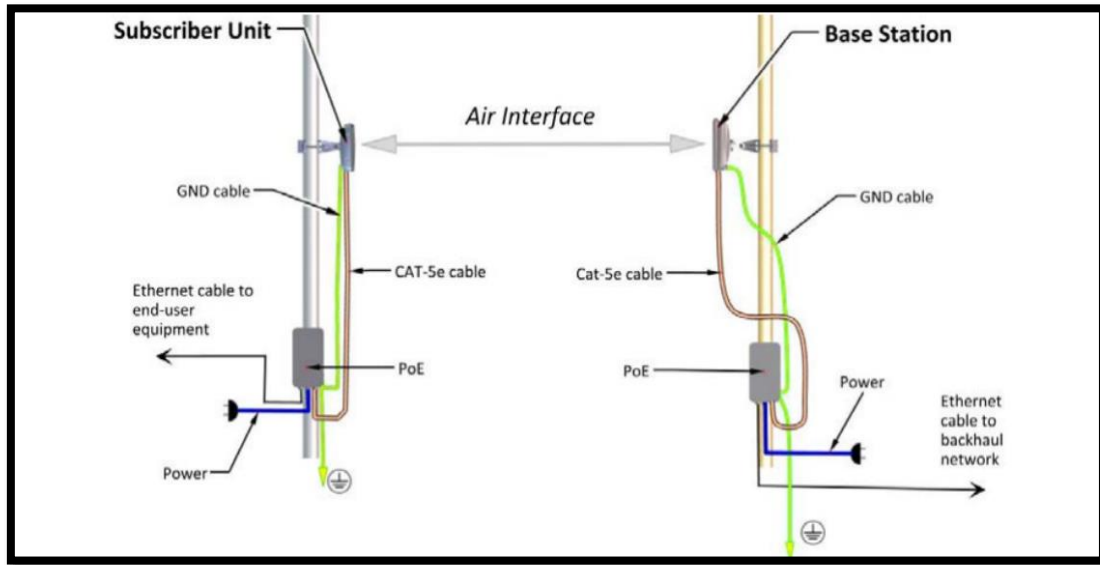
Nota: La imagen 11 muestra los niveles de la jerarquía de la pirámide de la automatización que se tiene que tener en cuenta en un sistema de bombeo

2.9. Implementación del sistema de telemetría

Antenas

Para la adquisición de a antenas se coordinó con el área de ingeniería de la empresa precisión que es un socio estratégico que brinda el soporte al área de mantenimiento de servicios mina en programación de softwares de comunicación, el cual sugirió el sistema de antena RADWIN 2000 que es una solución microonda sub - 6GHz Punto a Punto de gran capacidad. Se basa en la exclusiva interfaz de aire de RADWIN, junto con las tecnologías MIMO (Múltiple Input Múltiple Output – Múltiple Entrada Múltiple Salida) y OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales), RADWIN 2000 ofrece un rendimiento óptimo y una robustez sin precedente en todos los ambientes. Ofrece TDM nativo y Ethernet sobre un solo enlace, RADWIN 2000 proporciona a los operadores flexibilidad y una migración continua de TDM a IP. 53 soporta múltiples bandas y frecuencias sobre una sola plataforma de radio, RADWIN 2000 proporciona un throughput real de 100 Mbps y un rango de hasta 120 Km.

Figura 12
Detalle de instalación de antenas Radwin



Nota. La figura 12 muestra la instalación y el conexionado de los equipos que son utilizados para establecer comunicación entre las antenas y los switches.

Controlador PLC.

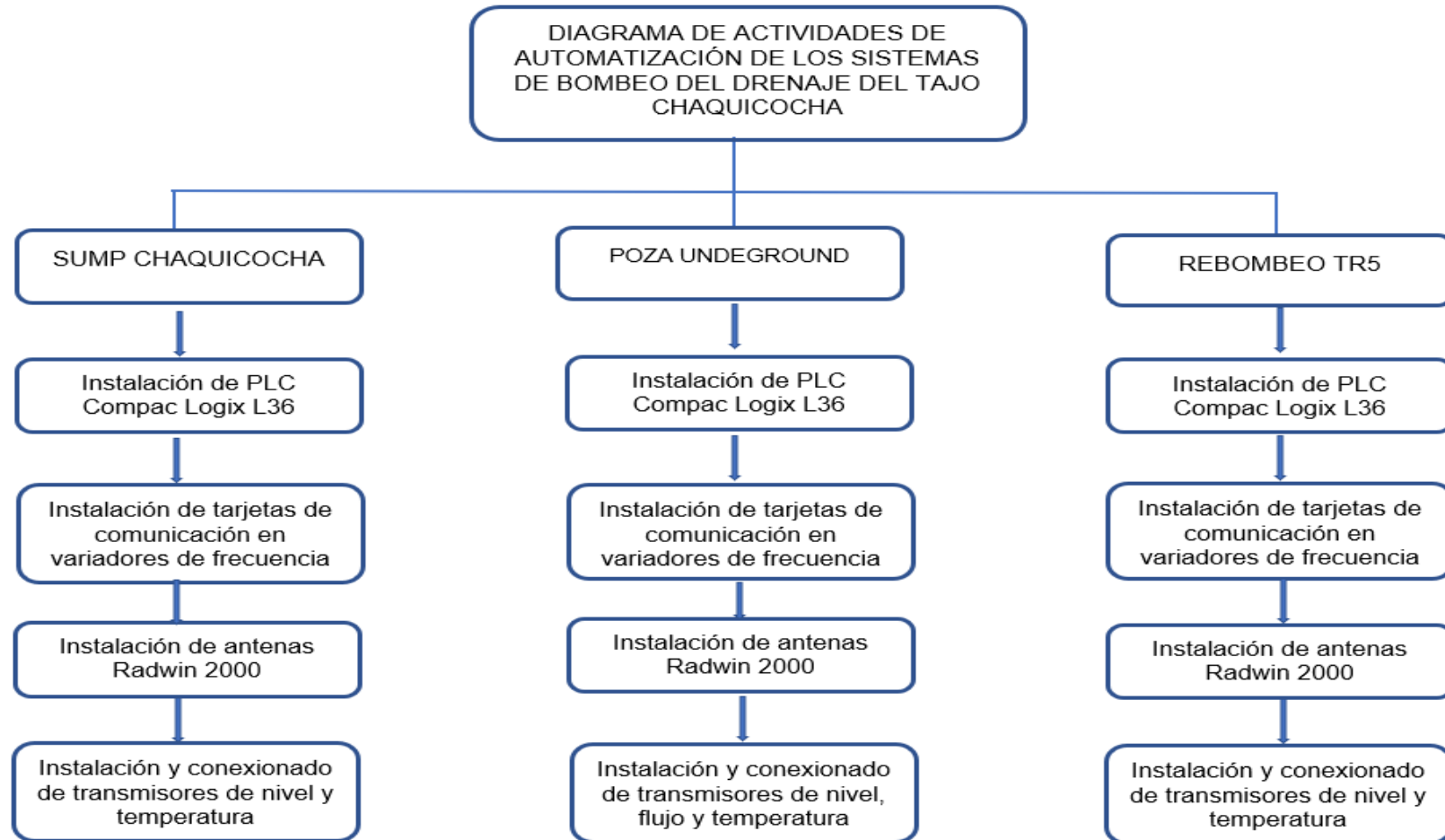
Para la elección del controlador se basó en coordinación del personal de servicios de mantenimiento mina y de la empresa precisión que nos da soporte en implementación de sistemas de automatización, por tal razón se optó por el controlador modular compact Logix 1769 L36ERM de la marca Allen Bradley, de la gama media. Este controlador posee fuente de alimentación, tarjetas de entradas digitales y analógicas.

Variador de frecuencia

Se utilizarán los variadores de frecuencia existentes de la marca Yaskawa modelo A1000 de 250 y 350 HP, Se adicionarán las tarjetas de comunicación por protocolo ethernet para la comunicación entre el PLC y el variador.

Figura 13

Diagrama de actividades para automatización de los sistemas de bombeo.



2.9.1 Automatización del sistema de bombeo sump chaquicocha

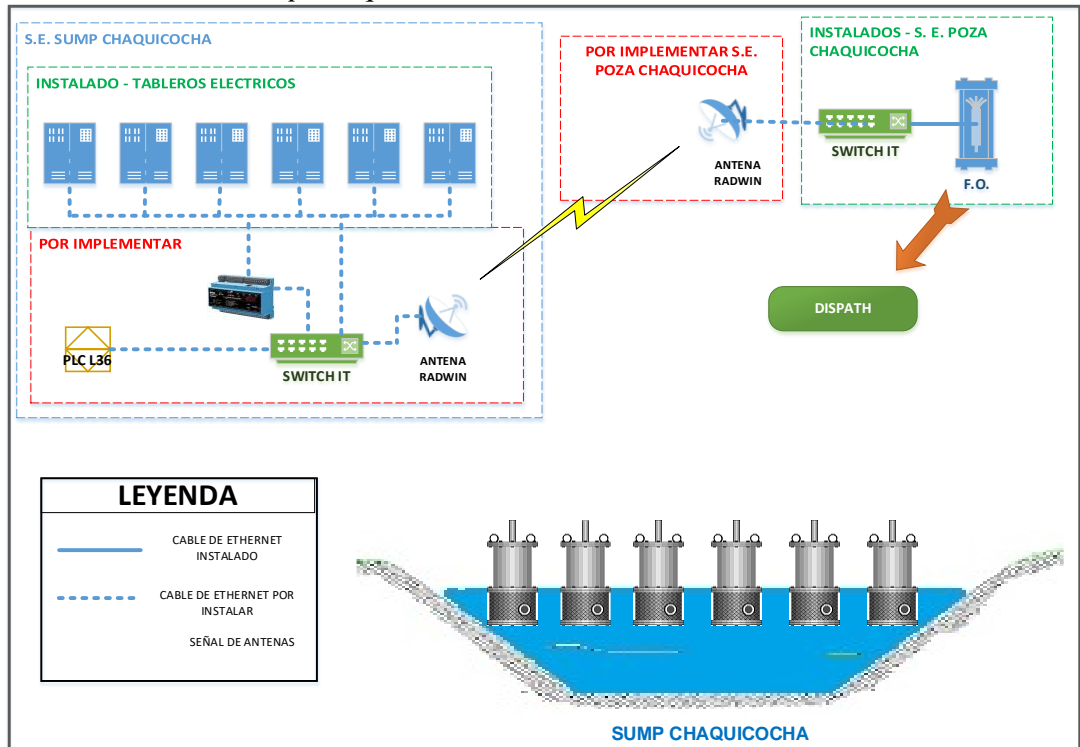
Se realizará la automatización de manera remota de la estructura sum chaquicocha con la finalidad de tener un algoritmo de control de operación automático y poder realizar el monitoreo de funcionamiento de manera remota, operado desde una sala de control.

La implementación del sistema se describe de la siguiente manera:

El Tablero de Instrumentación que se instalará en el patio de tableros eléctricos del sump chaquicocha que tendrá un PLC L36 con módulo de entradas analógicas, Switch con 8 puertos ethernet, que se conecta a la señal de los Ziehl TR800 de temperatura de cada tablero y funcionamiento de los variadores de frecuencia Yaskawa por cable ethernet hasta el switch del tablero de instrumentación. Para tener un control automatizado e independiente.

Se instalará una Antena Radwin 2000 en el patio de tableros eléctricos del sump chaquicocha con enlace a la Antena de la sub estación poza chaquicocha esta estará cableado hasta el Tablero de instrumentación existente y conectada al Switch que se encuentra con Fibra óptica y se llevará la señal de todos estos datos hasta el Operador Dispatch para que pueda monitorear de manera remota el funcionamiento de las estructuras del sistema de drenaje del tajo chaquicocha

Figura 14
Automatización del sump chaquicocha



Nota. La imagen 14 muestra la secuencia de instalación de equipos eléctricos y electrónicos para el control automático del sump chaquicocha.

2.9.2. Automatización del sistema de bombeo posa Underground.

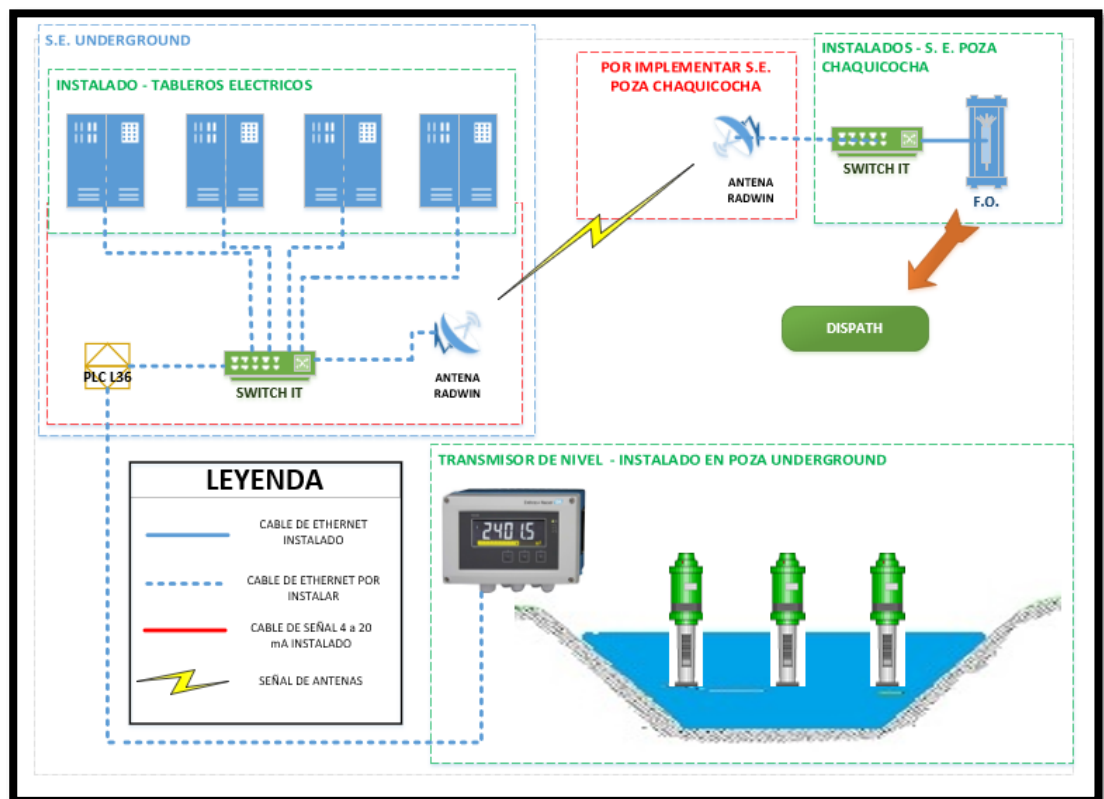
Se realizó la automatización de la estructura underground con la finalidad de tener un algoritmo de control de operación automático y poder realizar el monitoreo de funcionamiento de manera remota, operado desde una sala de control.

La implementación del sistema se describe de la siguiente manera:

EL Tablero de instrumentación que se instalará en el patio de tableros eléctricos de la poza underground que tendrá un PLC L36 con módulo de entradas analógicas, Switch con 8 puertos ethernet, que se conecta a la señal de los Ziehl TR600 de temperatura de cada tablero y funcionamiento de los variadores de frecuencia Yaskawa por cable ethernet hasta el switch del tablero de instrumentación. Para tener un control automatizado e independiente.

Se instalará una Antena Radwin 2000 en el cerco perimétrico de la poza underground con enlace a la Antena de la sub estación poza chaquicocha esta estará cableado hasta el Tablero de Instrumentación existente y conectada a el Switch que se encuentra con Fibra Óptica y se llevará la señal de todos estos datos hasta el Operador Dispatch para que pueda monitorear de manera remota el funcionamiento de las estructuras del sistema de drenaje del tajo chaquicocha.

Figura 15
Automatización de poza Underground.



Nota. La imagen 15 muestra la secuencia de instalación de equipos eléctricos y electrónicos para el control automático de la poza underground.

2.9.3. Automatización de sistema de rebombeo TR5

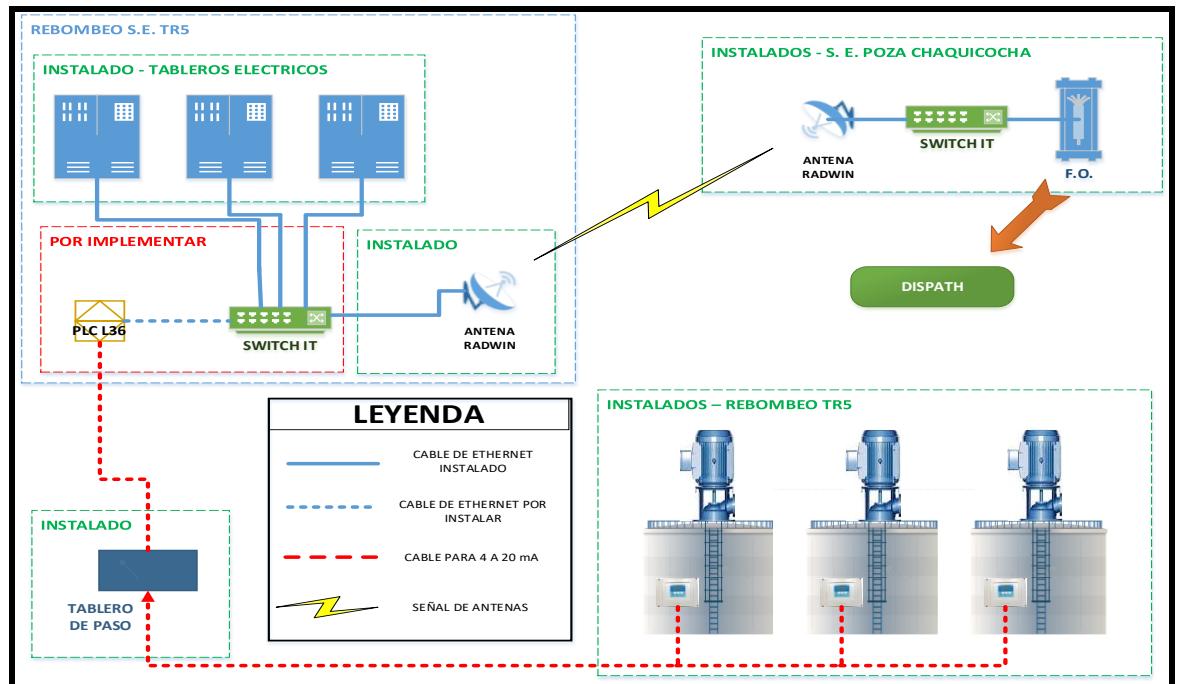
Se realizó la automatización de la estructura rebombeo TR5, con la finalidad de tener un algoritmo de control de operación automático y poder realizar el monitoreo de funcionamiento de manera remota, operado desde una sala de control.

La implementación del sistema se describe de la siguiente manera:

EL Tablero de Instrumentación que se instalará en el patio de tableros eléctricos del patio de tableros eléctricos TR5 que tendrá un PLC L36 con módulo de entradas analógicas, Switch con 8 puertos ethernet, que se conecta a la señal de los transmisores de los tanques posicion1, 2, y 3.

Se instalará una Antena Radwin 2000 en el cerco perimétrico de la sub estación TR5 con enlace a la Antena de la sub estación poza chaquicocha esta estará cableado hasta el Tablero de instrumentación existente y conectada al Switch que se encuentra con Fibra óptica y se llevará la señal de todos estos datos hasta el Operador Dispatch para que pueda monitorear de manera remota el funcionamiento de las estructuras del sistema de drenaje del tajo chaquicocha

Figura 16
Automatización de rebombeo TR5



Nota. La imagen 16 muestra la secuencia de instalación de equipos eléctricos y electrónicos para el control automático del rebombeo TR5

Lista de materiales.

Los materiales que se utilizaron para la automatización de los 3 sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha son los siguientes.

Tabla 9
Lista de materiales

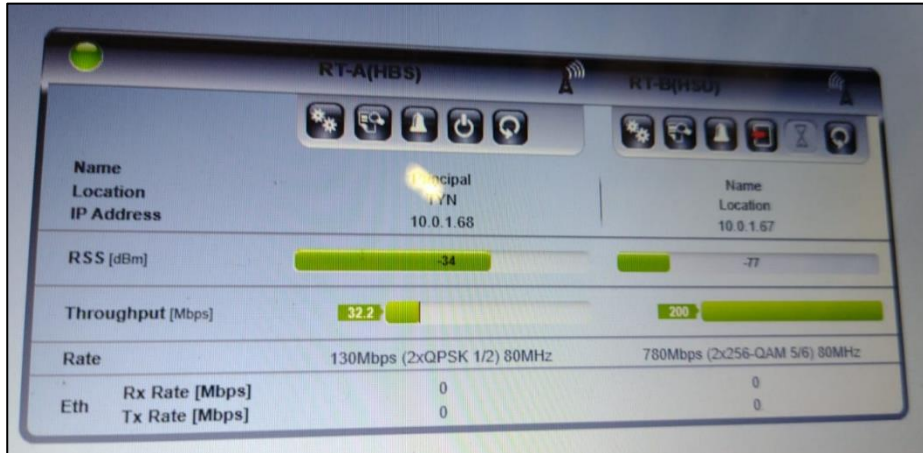
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
01	TABLERO DE METAL (ALTO –ANCHO –PROFUNDIDAD) 50CM X 40CM X 20CM	03 UND
02	CANALETAS 1” x 1.5”	3 MTS
03	RIEL DIN	2 MTS
04	LLAVES BIPOLAR DE 2A	3 UND
05	CABLES N°16 (ROJO Y NEGRO)	02 ROLLOS
06	RIEL UNISTRUT	2 MTS
07	TUERCAS CON RESORTES	04 UN
08	CINTILLOS N°150	100 UND
09	STARFLIX	100 UND
10	CABLE VULCANIZADO 3X14 AWG	10 MTS
11	CABLE BELDEN 2X16 + SHIELD	50 MTS
12	SWITCH CTRLINK	3 UND
13	TUBERÍA FLEXIBLE CONDUIT DE ¾”	100 MTS
14	CONECTORES RECTOS DE ¾” PARA TUBERÍA FLEXIBLE	30 UND
15	PLC 1769-L36ERM	03 UND
16	FUENTE 1769-PA4	03UND
17	ENTRADAS ANALÓGICAS 1769-IF8	03 UND
18	TAPA FINAL 1769-ECR	03 UND
19	CONECTOR RJ45	30 UND
20	CABLE UTP CAT6	150 MTS
21	CONECTORES HEMBRAS DOBLES RJ45	4 UND
22	ANTENAS RADWIN 2000 CON ACCESORIOS	6 UND

2.9.4. Softwares de Programación

Radwin Manager

Proporciona herramientas de gestión para planear, instalar, configurar, mantener y monitorear los enlaces Radwin vía una sola dirección IP. Por ser basado en SNMP, Radwin Manager puede integrarse de forma sencilla con cualquier sistema NMS.

Figura 17
Enlace de datos entre antenas.



Nota. La figura 17 muestra la transmisión de datos entre 2 antenas.

Studio 5000.

Es una herramienta muy amigable utilizada para la configuración y programación del controlador compact Logix 1769 L36 ERM a partir de la versión 20 en adelante.

Es un software bastante intuitivo, que permite el trabajo en equipo (colaborativo) para el desarrollo de aplicaciones, así como reducir el tiempo de puesta en marcha de un proyecto.

Drive wizar industrial

Software para PC con sistema operativo Windows para programación, respaldos, monitoreos y diagnóstico de fallas en Variadores de Frecuencia Yaskawa.

FactoryTalk View Site Edition.

FactoryTalk View SE proporciona una funcionalidad sólida y confiable en un solo paquete de software que puede ser usado en una amplia gama de aplicaciones, desde un sistema autónomo de HMI hasta una solución de visualización distribuida.

Tal como los clientes han podido experimentar en los últimos años, FactoryTalk

View SE permite aprovechar las ventajas de la tecnología móvil, la virtualización y otras nuevas tecnologías, a fin de responder a los retos de HMI en aplicaciones de proceso, por lotes y discretas, así como proporcionar esa visibilidad crucial en el momento y lugar necesarios.

2.9.5. Sistema de supervisión

Para el sistema de supervisión se utilizó el SCADA FactoryTalk View Site Edition (network distributed) de la marca Rockwell Automation, la elección de este SCADA fue tomada en base a su fácil integración con el controlador de la misma marca y además por la gran cantidad de funcionalidad y bondades que ofrece, como las animaciones, alarmas, tendencias, gestión de usuarios, etc.

El desarrollo de las pantallas se basó en función al diagrama P&ID facilitado por el área de drenaje y manejo de aguas. Asimismo, se desarrolló las tendencias para tener un registro histórico de las variables analógicas como nivel, caudal, temperatura, etc.

También se creó las alarmas de monitoreo las cuales ayudarán al operador con la identificación de alguna anomalía que se presente y pueda poner en riesgo la operación de los sistemas de bombeo de las estructuras del tajo chaquicocha.

Se implementó una gestión de usuarios con la finalidad de brindar permisos determinados a cierto personal según su función entre los que se destacan los grupos de: Calidad, Operadores, líderes, Mantenimiento.

2.9.6 Aspectos éticos

En la investigación se protegió la identidad de cada uno de los sujetos de estudio y se

tomó en cuenta las consideraciones éticas pertinentes como:

- Confidencialidad: La información obtenida no será revelada ni divulgada para otro propósito que no sea académico.

Figura 18

Instalación de antenas Radwin 2000 en el tajo Chaquicocha



Nota. La figura 18 muestra la distribución de las antenas instaladas en los 3 sistemas de bombeo del drenaje de aguas subterráneas de la empresa minera

CAPITULO III RESULTADOS

3.1 Monitoreo Remoto de los sistemas de bombeo

Una vez instalado el sistema de telemetría por antenas Radwin 2000 por comunicación punto a punto en los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha, el personal técnico instrumentista diseña las pantallas de operación el SCADA de manejo de aguas con la finalidad de realizar el monitoreo remoto a través del operador de Dispatch.

3.2. Costo de la implementación del sistema de telemetría por antenas Radwin 2000.

Técnicamente se comprueba que la estrategia seleccionada es favorable para reducir costos de operación por monitoreo local y mejorar el monitoreo remoto de los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha.

Se considera un monto de inversión de S/. 210,000 el 50% cubierto por el área de manejo de guas y el otro 50% cubierto por el área de mantenimiento servicios mina.

Tabla 10

Costos por actividades

	Actividades	Duración (días)	Recursos	Costo s/.
1	Evaluación de los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha	7	1 ingeniero. 1 técnico instrumentista. 1 técnico electricista	S/ 1,500.00 S/ 800.00 S/ 800.00
2	Análisis del actual proceso de monitoreo local del drenaje del tajo chaquicocha	7	1 ingeniero 1 técnico instrumentista. 1 técnico electricista	S/ 1,500.00 S/ 800.00 S/ 800.00
3	Elaboración de planos, programación de PLC y desarrollo de pantallas en SCADA.	4	2 técnicos instrumentistas.	S/ 1,000.00
4	Transporte de personal materiales y equipos eléctricos	30	1 camioneta. 1 conductor	S/ 8,000.00 S/ 2,000.00
5	Conexionado de cables de control en instrumentos, tableros		1 ingeniero.	S/ 1,500.00

	eléctricos y tableros de instrumentación	6	1 técnico instrumentista.	S/ 740.00
			2 técnicos electricista	S/ 1,480.00
			1 ingeniero.	S/ 500.00
6	Montaje de antenas, conexión de cables de comunicación	3	1 técnico instrumentista.	S/ 250.00
			2 técnicos electricista	S/ 480.00
			1 ingeniero.	S/ 500.00
7	Pruebas de funcionamiento de manera local y remota	3	2 técnico instrumentista.	S/ 720.00
			1 técnico electricista	
TOTAL				S/ 23,370.00
				IGV 18%
				S/ 4,206.60
TOTAL, INCLUIDO IGV				S/ 27,576.60

Tabla 11
Costos por materiales

ITEM	Descripción	Cantidad	Costo S/.
1	TABLERO DE METAL (ALTO –ANCHO –PROFUNDIDAD) 50CM X 40CM X 20CM	03 UND	S/ 1,500.00
2	CANALETAS 1" x 1.5"	3 MTS	S/ 300.00
3	RIEL DIN	2 MTS	S/ 80.00
4	LLAVES BIPOLAR DE 2A	9 UND	S/ 700.00
5	CABLES N°16 (ROJO Y NEGRO) N° 16 AWG	02 ROLLOS	S/ 400.00
6	RIEL UNISTRUT	6 MTS	S/ 200.00
7	TUERCAS CON RESORTES (SAPITOS) DE 3/8"	12 UND	S/ 108.00
8	CINTILLOS N°150 mm	100 UND	S/ 30.00
9	STARFLIX	100 UND	S/ 150.00
10	CABLE VULCANIZADO 3X14 AWG	100MTS	S/ 800.00
11	CABLE BELDEN 2X16 + SHIELD	600 MTS	S/ 4,200.00
12	SWITCH CTRLINK	4 UND	S/ 4,000.00
13	TUBERÍA FLEXIBLE CONDUIT DE ¾"	100 MTS	S/ 1,500.00
14	CONECTORES RECTOS DE ¾" PARA TUBERÍA FLEXIBLE	30 UND	S/ 450.00
15	PLC 1769-L36ERM	03 UND	S/ 54,000.00
16	FUENTE 1769-PA4	03UND	S/ 4,500.00
17	ENTRADAS ANALÓGICAS 1769-IF8	03 UND	S/ 6,000.00
18	TAPA FINAL 1769-ECR	03 UND	S/ 500.00
19	CONECTOR RJ45	50 UND	S/ 200.00
20	CABLE UTP CAT6	150 MTS	S/ 900.00
21	CONECTORES HEMBRAS DOBLES RJ45	12UND	S/ 100.00
22	TARJETAS DE COMUNICACIÓN DE VARIADORES	13	S/ 13,000.00
23	ANTENAS RADWIN 2000 CON ACCESORIOS	6 UND	S/ 54,000.00
TOTAL			S/ 147,618.00

IGV 18% S/ 26,571.24
TOTAL INCLUIDO IGV S/ 174,189.24

El costo de la implementación de un sistema de telemetría por antenas Radwin para el monitoreo remoto de los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha es de S/ 201,765.84.

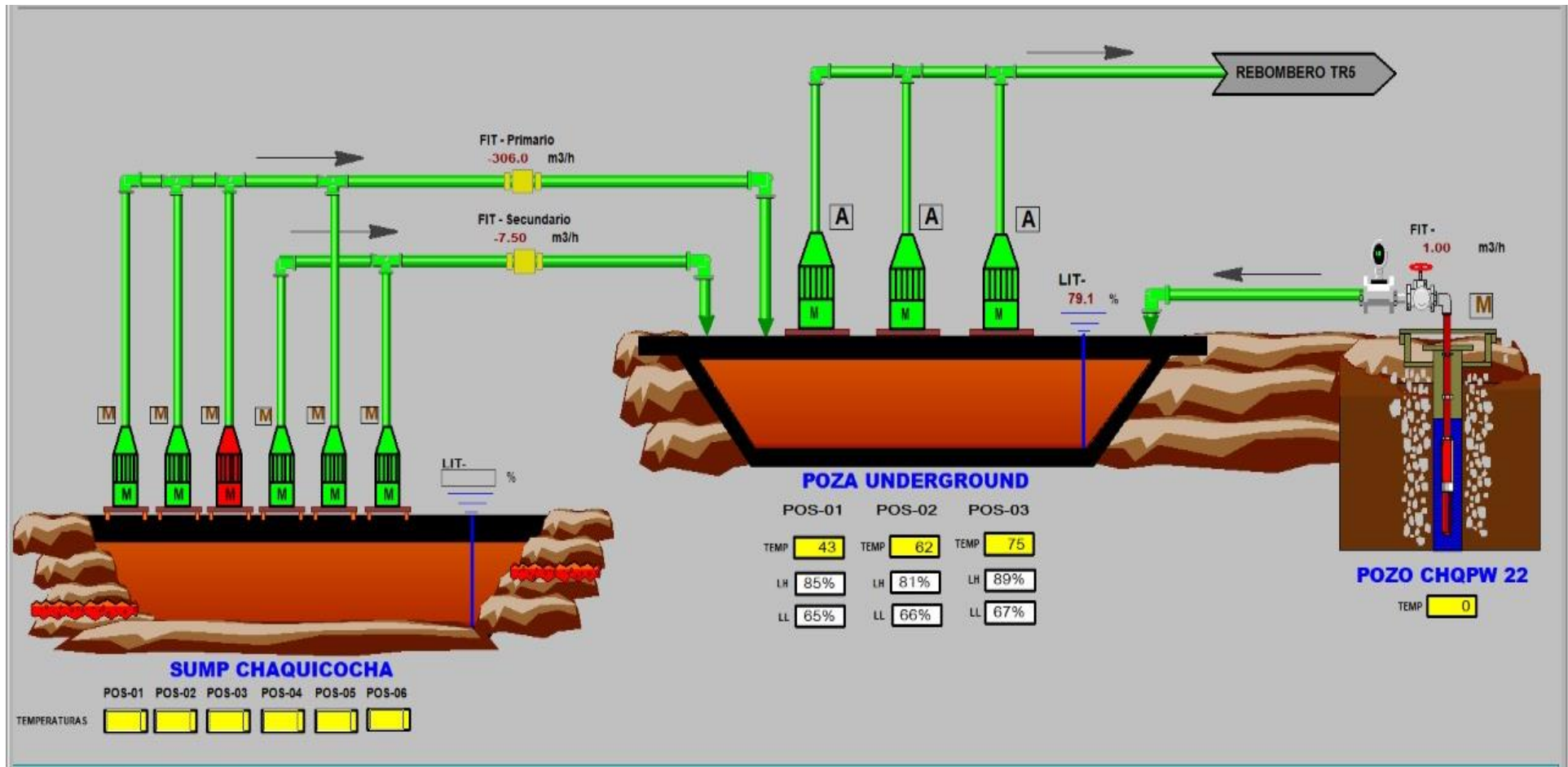
Tabla 12
Costos por servicios

ITEM	Descripción	N° de días asignados	Recursos	Costo S/.
1	OPERADOR DE OPERACIONES MANEJO DE GUAS	30	2	S/ 12,000.00
2	CAMIONETA 4X4 PICK UP DE MANEJO DE GUAS	30	1	S/ 8,000.00
3	PERSONAL DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO MINA	8	2	S/ 7,000.00
4	CAMIONETA 4X4 PICK UP DE MANTENIMIENTO MINA	8	1	S/ 2,700.00
TOTAL				S/ 29,700.00
				IGV 18%
				S/ 5,346.00
				TOTAL, INCLUIDO
				IGV
				S/ 35,046.00

El costo de monitoreo local de los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha en el mes de enero del 2021 es S/ 35,046.00. En todo el año del 2021 es el valor de S/ 420,552.

Figura 19

Pantalla de monitoreo remoto de Sump Chaquicocha y poza underground



Nota. La imagen 19 muestra cómo se realiza el monitoreo remoto de los sistemas de bombeo desde una sala de control.

Figura 20
Pantalla de operación y monitoreo remoto del rebompeo TR5

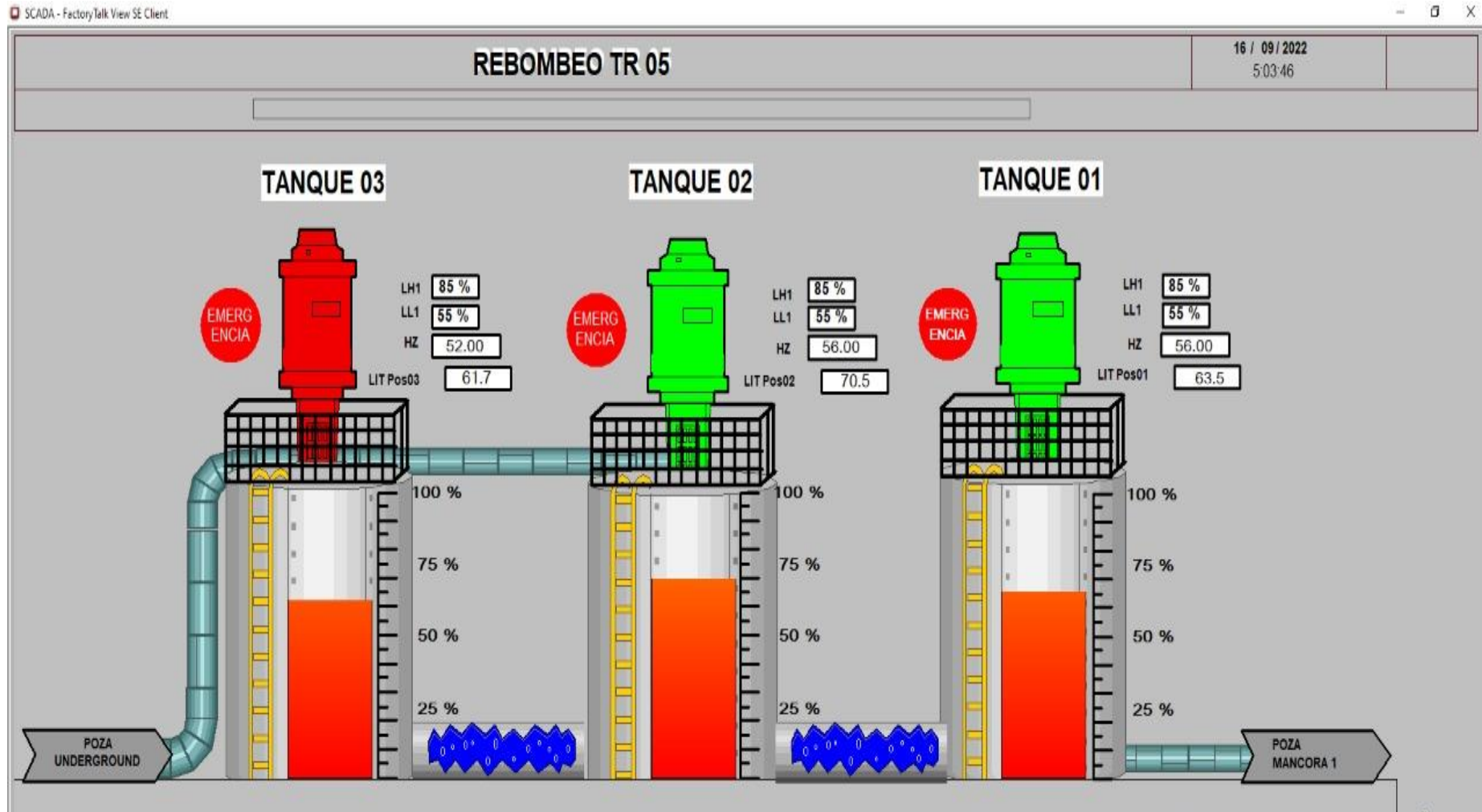


Figura 21

Registro de datos del tajo Chaquicocha

REGISTRO DE DATOS TAJO CHAQUICOCHA				
Día operacional:		06-03-2022		
Turno:		08:00:00		
MONITOREO DE NIVELES DE AGUA ACIDA DEL TAJO CHAQUICOCHA				
HORARIO	8:00 a. m.	11:00 a. m.	2:00 p. m.	5:00 p. m.
SUMP CHAQUICOCCHA	100%	100%	100%	100%
POZA UNDERGROUND	98%	97%	98%	95%
TANQUE POS 1	80%	65%	70%	78%
TANQUE POS 2	80%	82%	86%	78%
TANQUE POS 3	70%	75%	80%	85%
POZA MANCORA 1	50%	50%	50%	50%
POZA MANCORA 2	80%	87%	86%	85%

Respecto a la implementación de un sistema de telemetría a través de antenas Radwin 2000, la figura 19 y 20 muestran los valores obtenidos del proceso de monitoreo de manera remota del drenaje del tajo chaquicocha, donde se observa que sin necesidad de desplazarse al área de trabajo se obtiene los datos de monitoreo de parámetros eléctricos, monitoreo de nivel de pozas y descarga de flujo de las electrobombas logrando el objetivo propuesto.

Tabla 13

Comparación de indicadores antes y después de la mejora

Variable	Dimensiones	Indicadores	Antes	Después
Sistema de telemetría por antenas. (Variable independiente)	Estructuras automatizadas por telemetría	% de operatividad de las estructuras automatizadas por telemetría	0%	100%
Proceso de monitoreo del drenaje aguas subterráneas (Variable dependiente)	Monitoreo de parámetros eléctricos	% de monitoreo de los parámetros eléctricos de manera remota.	0%	80%
	Monitoreo del nivel de las pozas de aguas acidas	% de nivel de las pozas de manera remota.	0%	80%
	Monitoreo del flujo bombeado en la descarga de las electrobombas.	% de flujo de descarga de manera remota	0%	80%

CAPITULO IV DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión de los resultados

A partir de los resultados encontrados se acepta la hipótesis general que plantea para el desarrollo de mi trabajo de investigación que establece que con el diseño y la implementación de un sistema de telemetría se mejorara el proceso de monitoreo del drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera.

El drenaje de aguas subterráneas es vital para toda operación minera, por lo que una de las tareas clave es el monitoreo de sus sistemas de bombeo. En el presente estudio se determinó la implementación de un sistema de telemetría por antenas para mejorar el proceso de monitoreo de manera remota del drenaje de aguas subterráneas del tajo chaquicocha.

4.2 Interpretación de los resultados

La opción planteada en esta tesis es la automatización por telemetría de los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha, las tablas 10, 11, 12 muestra la diferencia del costo de monitoreo de manera local y el costo de la implementación de un sistema de telemetría donde indica que esta opción de monitoreo remoto tiene costos anuales en 50% menos que el monitoreo de manera local, en forma manual, en la imagen 14, 15 y 16 se determina los equipos e instrumentos a utilizar en la automatización de cada estructura donde se detallan las especificaciones técnicas de cada componente necesario para la automatización.

El costo del proceso de monitoreo de los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha de manera local es de S/ 420,552 en el año 2021, comparado con el costo de la implementación del sistema de telemetría por antenas Radwin 2000 que tiene un valor de S/

201,765.84. por lo que se refleja un ahorro S/ 218,786.16 en un año después de su implementación, un 52% menos en comparación al monitoreo de manera local.

Periodo de recuperación del monto invertido = 6 meses.

Respecto al diseño de las pantallas de operación del sistema SCADA se determinó que las animaciones sean lo más amigables y semejantes a la simbología de los sistemas de bombeo en campo para facilitar el monitoreo remoto del área de drenaje de aguas subterráneas de la empresa minera.

La automatización de los sistemas de bombeo partió de la elaboración de un diagrama de bloques, aquí se determina la lógica del proceso con las condiciones y/o restricciones de operación del sistema de bombeo.

4.3 Comparación de resultados

Estos resultados guardan relación con lo que manifiesta (Zamora, 2018) en su tesis titulada “Diseñar Sistema de Automatización por telemetría en la Planta de Tratamiento de Agua y Estanques de Distribución de la Escuela de Grumetes Alejandro Navarrete Cisternas” este autor expresa que con la propuesta de implementar un sistema de supervisión y control automático que permita optimizar el recurso hídrico el ahorro de energía y aumentar la vida útil de las electrobombas. Lo que menciona Zamora es acorde con este tema de investigación.

Así mismo también los resultados encontrados guardan relación con lo que desarrollaron (Erick Franklin & Ronald Javier, 2019) “Aplicación de un sistema SCADA RSVIEW32 para la automatización de bombas sumergibles en una mina a cielo abierto, Cajamarca 2019” encontraron que un sistema de control automatizado por telemetría para los equipos sumergibles (bombas y motores) de pozos profundos, permite un monitoreo

constante de su funcionamiento detallado, así mismo también detectar las fallas en los motores durante el bombeo del drenaje de aguas subterráneas. En tal sentido lo manifestado por el autor tiene concordancia con el estudio que se logró desarrollar e aplicar.

Sin embargo (Sedano, 2018) en su tesis titulada “Influencia de la automatización por telemetría en el sistema de bombeo de agua potable en la minera Corihuarmi, Yauyos Lima 2018” menciona que es importante determinar los requerimientos con las especificaciones técnicas de cada componente en la automatización por telemetría para cada etapa, esto con la finalidad de garantizar la comunicación industrial entre estos y a la vez evitar la compra de equipos sobredimensionados ocasionando costos adicionales innecesarios.

De esta manera en base a lo mencionado (Sedano, 2018) La mejor forma de garantizar la efectividad de la automatización por telemetría en el sistema de bombeo es a través de uso de Softwares reconocidos y licenciados tales como Radwin Manager para programar los enlaces de las antenas Radwin 2000, Drive Wizar para programar los variadores de velocidad de la marca Yaskawa, Studio 5000 para programar los PLC y Factory Talk Side Edition para realizar un programa de control y supervisión del drenaje del tajo chaquicocha.

4.2. Conclusiones

El diagnóstico nos permitió identificar los principales factores que afectaron el aumento de nivel de aguas subterráneas del tajo chaquicocha y la inundación del túnel de exploración de minería subterránea en el nivel 3628 debido a un monitoreo local de los sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha de manera local, y por las

restricciones de prohibición de ingreso en época de lluvia hacia el sump chaquicocha para realizar la toma de parámetros eléctricos por parte del área de mantenimiento servicios mina.

Ante esta realidad problemática de no tener los sistemas automatizados por control automático, se opta por la implementación de un sistema de telemetría remoto que está conformado por los siguientes equipos eléctricos y electrónicos antenas Radwin 2000, integración de variadores de frecuencia a control por PLC para control automático de los sistemas de bombeo, Implementación de sistema de supervisión SCADA.

Con la implementación de antenas en los 3 sistemas de bombeo sump chaquicocha, poza Underground y rebombeo TR5, se llega al objetivo específico de mejorar el proceso de monitoreo remoto del área de drenaje de aguas subterráneas de una empresa minera.

Tomando como base la implementación del sistema de telemetría por antenas y el análisis de un periodo de tiempo de 12 meses antes y 12 meses después de la implementación de la automatización se logró el monitoreo remoto del 100 % de los sistemas de bombeo, el monitoreo de parámetros eléctricos de electrobombas al 80%, monitoreo de nivel de pozas y tanques al 80% y monitoreo de flujo de descarga de electrobombas al 80%

REFERENCIAS

- Correa, A. R., & Saldaña, N. V. (2020). *DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO*. Cajamarca.
- Erick Franklin, T. S., & Ronald Javier, C. C. (2019). “*Aplicacion de sistema SCADA RSVIEW32 para la automatizacion de bombas sumergibles en una mina a cielo abierto en cajamarca*”. Cajamarca - Peru.
- Hendres, & hauser. (2006). *Informacion tecnica Prososnic FMU 90*. España.
- Huilcapi, S., & Gallegos, D. (2020). Importancia del diagnostico situacional de una empresa. *ESPACIOS*.
- Lopez, P. (2015). los sistemas SCADA en la automatizacion industrial. *tecnologia en marcha, 2*.
- Martinez, H. (2015). *Modulo didactico para practicas con controladores logicos programables* . San Nicolaz de los Garza, nuevo León.
- Oblitas Cruz, J. (2018). GUÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. 25-30.
- Pablo, C. B., & Rafael, S. C. (2020). *Mejora de control de mantenimiento de tablero de control eléctrico y su influencia en la confiabilidad del área de sevicios de una empresa minera* . Cajamarca-Peru.
- Pacheco, J. T. (2016). El Agua en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre. *el agus en el medio ambiente minero* , 1.

Peñuela, M. A.-J. (2019). Sistemetria Inalambrico para la medicion de parametros de

seguridad en un tanque de produccion . *AndradeHerreraMauricio2019.pdf*, 1.

Sampieri, R. H. (2017). Metodologia de la Investigaci3n. mexico.

S3nchez, E. F., & Correa, R. J. (s.f.). *Aplicacion de un sistema SCADA RSVIEW32 para*

la automatizaci3n de bombas sumergibles en una mina a cielo abierto, cajamarca

2019. UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE , CAJAMARCA.

Sedano, C. V. (2018). Influencia de la automatizaci3n por telemetría en el. *Escuela*

Acad3mico Profesional de Ingeniería El3ctrica, 61-63.

Siemens. (2020). *Caudalímetros SITRANS FM MAG 5000/6000 IP67*. Alemania.

Suarez, L. X. (2017). *Variadores de frecuencia para el control de velocidad de motores*

electricos jaula de ardilla . Ecuador.

Tech, I. (2017). Telemetria para optimizacion de procesos productivos . 4.

Torres, G. A. (2021). “*Diseño e implementaci3n de un sistema de telemetría en apoyo a*

la optimizaci3n de la productividad de la unidad operativa Inmaculada, de la

compañía minera Ares. Lima.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Formato de inspección de estructuras del drenaje del tajo Chaquicocha

LOGO DE LA EMPRESA	CHECK LIST DE INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE TAJO CHAQUICOCHA		FECHA
ÁREA			
ESTRUCTURA SUM CHAQUICOCHA			
TAB:144	operativo		
TAB:104	operativo		
TAB:101	operativo		
TAB:146	operativo		
TAB:019	operativo		
TAB:067	en falla	fallo por temperatura	
BOMBA FLYGT POS 1	operativo		
BOMBA FLYGT POS 2	operativo		
BOMBA FLYGT POS 3	operativo		
BOMBA FLYGT POS 4	operativo		
BOMBA FLYGT POS 5	operativo		
BOMBA FLYGT POS 6	en falla	falla al arrancar	
NIVEL DEL SUM CHAQUICOCHA	100%		
FLUJOMETRO 1	200 l/s		
FLUJOMETRO 2	220 l/s		
ESTRUCTURA POZA UNDERGROUND			
TAB:169	operativo		
TAB:018	operativo		
TAB:102	operativo		
TAB:173	en falla	falla por temperatura	
BOMBA TURBINA POS 1	operativo		
BOMBA TURBINA POS 2	operativo		
BOMBA TURBINA POS 3	operativo		
POZO CHQPW 22	en falla	falla por temperatura	
NIVEL DE POZA UNDERGROUND	95%		
ESTRUCTURA TANQUES DE REBOMBEO TR5			
TAB:147	operativo		
TAB:036	operativo		
TAB:193	operativo		
BOMBA TURBINA POS 1	operativo		
BOMBA TURBINA POS 2	operativo		
BOMBA TURBINA POS 3	en falla	Bomba trabada	
NIVEL DE TANQUE POS 1	70%		
NIVEL DE TANQUE POS 2	80%%		
NIVEL DE TANQUE POS 3	85%		
Técnicos responsables		firma	
Supervisor		firma	

Nota. La imagen muestra el formato de inspección de los 3 sistemas de bombeo del drenaje del tajo chaquicocha

ANEXO 2. Instalación de antena Radwin en sump chaquicocha



ANEXO 3 Tablero eléctrico para variador de frecuencia marca Yaskawa de 350 HP

