



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Diseño de protección de equipos móviles implementando  
el sistema Ground Fault/Ground Check para bombas  
sumergibles utilizadas en la industria minera**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Mecánico-Eléctrico

**Alberto Salomón Cabanillas Alberca**

**Asesor(es):  
Dr. Ing. Víctor Manuel Lizana Bobadilla**

**Piura, marzo de 2025**

### Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Alberto Salomón Cabanillas Alberca, egresado del Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 75869192, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

**"Diseño de protección de equipos móviles implementando el sistema Ground Fault/Ground Check para bombas sumergibles utilizadas en la industria minera"**

El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Mecánico-Eléctrico.

Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.

- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número

El texto de mi trabajo final es original y no vulnera los derechos de terceros o, de ser el caso, derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para lo cual, he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, el texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico; y que la investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

En caso de detectarse el incumplimiento de lo declarado asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

La asesoría del trabajo estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Universidad de Piura:

- Dr. Ing. Víctor Manuel Lizana Bobadilla, identificado con DNI: **02833984**
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número

Declaro (declaramos) que:

Luego de haber empleado el software de coincidencia Turnitin, revisado las fuentes de información señaladas por el autor, y en razón de mi (nuestra) experiencia como investigador(es), declaro (declaramos) que las ideas expuestas en el trabajo final alcanzan las condiciones de calidad, integridad y originalidad acorde a los objetivos institucionales y estándares en materia de investigación. Finalmente, no asumo (asumimos) responsabilidad por la posible vulneración de derechos de autor en el trabajo final referido, pues tal responsabilidad es exclusiva del autor.

Fecha: 08/03/2025.



Firma del autor<sup>1</sup>



Firma del asesor<sup>2</sup>

Firma del co-asesor<sup>3</sup>

Firma del co-asesor<sup>3</sup>

## **Dedicatoria**

Dedicado a mi familia, el eje central de mi formación y motivación para seguir adelante.

A mi madre, quién siempre me alentó a seguir.

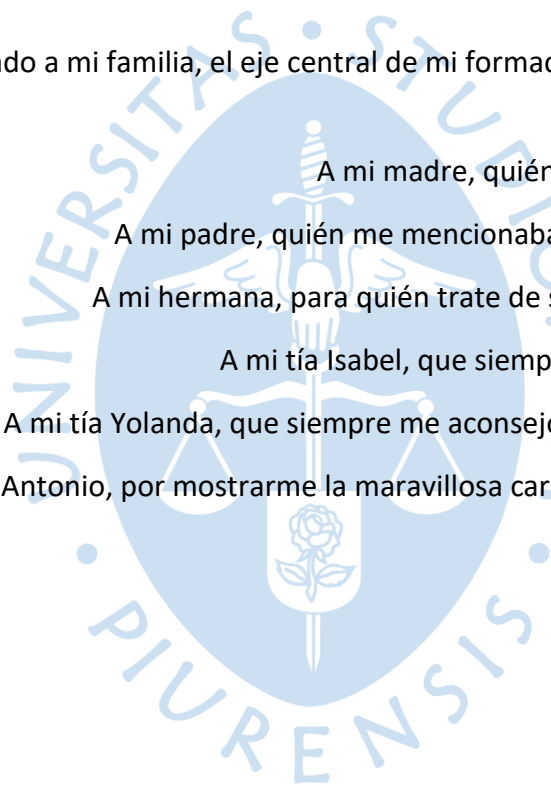
A mi padre, quién me mencionaba ejemplos de perseverancia.

A mi hermana, para quién trate de ser el mejor ejemplo posible.

A mi tía Isabel, que siempre me apoyó en los estudios.

A mi tía Yolanda, que siempre me aconsejó a tomar buenas decisiones.

A mi tío Antonio, por mostrarme la maravillosa carrera de Ingeniería Mecánico-Eléctrica.



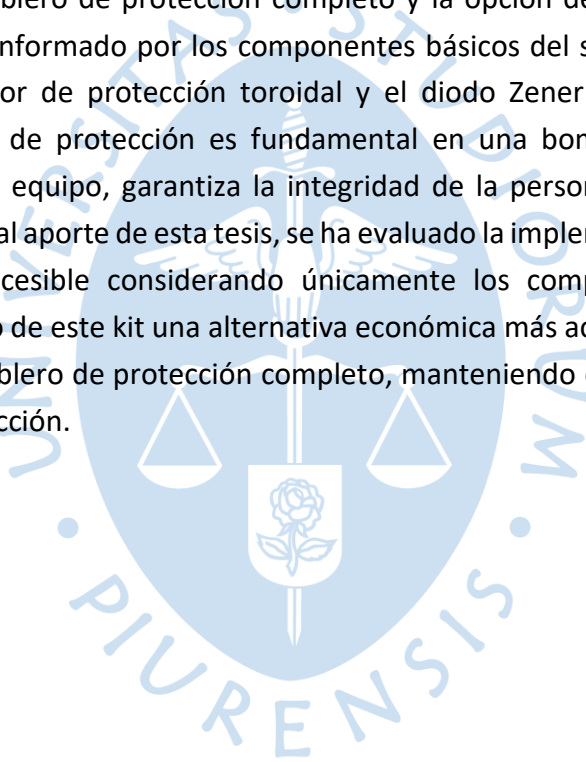
## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, a mis padres por su apoyo incondicional para hacer posible esta tesis, al ingeniero Víctor Lizana por su valiosa asesoría, y al ingeniero Miguel Zanabria por brindarme las facilidades para avanzar en la tesis en la unidad minera.



## Resumen

Las exigencias de seguridad en minería requieren de sistemas de protección con alta confiabilidad para la prevención de accidentes que atenten contra la vida humana y la funcionalidad de los equipos. El objetivo del estudio es la protección de equipos móviles, como es el caso de una bomba sumergible; en la presente tesis se plantea la viabilidad de implementar un sistema de protección más accesible tanto en su financiamiento como en su instalación. En el capítulo I se explica el funcionamiento de los equipos de protección más utilizados en los tableros de variadores de frecuencia de las bombas sumergibles, así como, del sistema de protección Ground Fault/Ground Check. En el capítulo II se describe los criterios para la implementación del sistema Ground Fault/Ground Check y se hace un análisis económico entre un tablero de protección completo y la opción de implementar un kit de protección que está conformado por los componentes básicos del sistema como el módulo RC48C, el transformador de protección toroidal y el diodo Zener. Finalmente, se llega a concluir que este tipo de protección es fundamental en una bomba sumergible, ya que además de proteger al equipo, garantiza la integridad de la persona que se encuentre en contacto. Como principal aporte de esta tesis, se ha evaluado la implementación de un sistema de protección más accesible considerando únicamente los componentes básicos antes mencionados, haciendo de este kit una alternativa económica más accesible en un 37.12% en comparación con un tablero de protección completo, manteniendo el principio fundamental de un sistema de protección.



## Tabla de contenido

Introducción .....	9
Capítulo 1.....	10
Información general .....	10
1.1 Introducción a la protección de equipos móviles en minería .....	11
1.1.1 Importancia de la protección en equipos móviles en minería .....	11
1.1.2 Normativas aplicables a la minería para protección eléctrica .....	16
1.2 Tipos de falla a tierra y sus implicaciones .....	18
1.2.1 Tipos de fallas comunes en equipos sumergibles .....	19
1.2.2 Efectos de las fallas a tierra en los equipos y en las personas .....	20
1.3 Sistema de protección Ground Fault y Ground Check .....	23
1.3.1 Definición y funciones del sistema Ground Fault .....	24
1.3.2 Definición y funciones del sistema Ground Check .....	25
1.4 Componentes clave del sistema de protección.....	25
1.4.1 Módulo de protección .....	25
1.4.2 Transformador de corriente .....	27
1.4.3 Diodo Zener .....	29
Capítulo 2.....	33
Desarrollo del trabajo.....	33
2.1.1 Descripción técnica de la bomba sumergible Tsurumi LH8110.....	33
2.1.2 Cálculos de protección necesarios para la implementación .....	38
2.1.3 Esquema de conexión y disposición de componentes de protección.....	40
2.2 Procedimiento de instalación del sistema.....	44
2.2.1 Instrucciones paso a paso para la instalación del sistema Ground Fault/Ground Check .....	44
2.2.2 Propuestas de instalación del kit de protección.....	49
2.2.3 Mantenimiento preventivo y calibración periódica de los equipos de protección.....	51
2.3 Evaluación económica y comparación de opciones de implementación .....	55
2.3.1 Análisis económico de la implementación de un tablero de protección completo.....	55
2.3.2 Análisis económico de la implementación de un kit de protección .....	57
Conclusiones.....	58
Recomendaciones .....	59
Glosario .....	60
Referencias .....	61
Anexo A. Especificación Estándar de Buenaventura E-COR-SIB-03.03 Alimentación de Energía a Equipos Móviles y Movibles .....	63
Anexo B. Especificaciones técnicas de la bomba sumergible Tsurumi LH-8110 .....	71
Anexo C. Especificaciones técnicas del módulo RC48C.....	75
Anexo D. Diagrama unifilar de conexión.....	77
Anexo E. Plan de mantenimiento anual del Sistema de protección Ground Fault/ Ground Check. .....	80

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Efectos fisiológicos producidos por el paso de una corriente eléctrica en el cuerpo humano	21
<b>Tabla 2</b> Resumen de umbral de corriente.....	23
<b>Tabla 3</b> Problemas o fallas en la bomba sumergible LH8110 Tsurumi .....	36
<b>Tabla 4</b> Cuadro de gastos de la implementación de un tablero completo .....	56
<b>Tabla 5</b> Cuadro de gastos de la implementación de un kit de protección.....	57
<b>Tabla 6</b> Comparación de precios entre el tablero completo y el kit .....	57



## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Equipo móvil en minería: bomba sumergible .....	11
<b>Figura 2</b> Partes de un interruptor termomagnético .....	12
<b>Figura 3</b> Representación gráfica del sistema de protección térmica.....	13
<b>Figura 4</b> Representación gráfica del sistema de protección electromagnética .....	14
<b>Figura 5</b> Ejemplo de limitador de sobretensión .....	14
<b>Figura 6</b> Relé de protección .....	15
<b>Figura 7</b> Esquema de conexión de una bomba sumergible (equipo móvil).....	17
<b>Figura 8</b> Bomba sumergible .....	19
<b>Figura 9</b> Tabla de umbral de corriente eléctrica .....	22
<b>Figura 10</b> Módulo RC48C de la marca Bender .....	26
<b>Figura 11</b> Esquema de conexión del módulo RC48C.....	27
<b>Figura 12</b> Esquema de funcionamiento de un transformador.....	27
<b>Figura 13</b> Transformador de corriente de protección .....	28
<b>Figura 14</b> Diodo Zener.....	29
<b>Figura 15</b> Diodo polariza directa e indirectamente .....	30
<b>Figura 16</b> Ejemplo de aplicación de un diodo Zener para una fuente menor al voltaje de ruptura....	30
<b>Figura 17</b> Medición de voltaje en la resistencia y en el diodo Zener.....	31
<b>Figura 18</b> Ejemplo de aplicación de un diodo Zener para una fuente de mayor voltaje de ruptura. ...	31
<b>Figura 19</b> Medición de voltaje en el circuito.....	32
<b>Figura 20</b> Vista de planta de la bomba LH8110.....	34
<b>Figura 21</b> Vista de lateral de la bomba LH8110 .....	34
<b>Figura 22</b> Vista de corte de la bomba LH8110 .....	35
<b>Figura 23</b> Red de descarga de bomba a red en la Poza 103.....	37
<b>Figura 24</b> Conexiones hidráulicas y eléctricas en una red de descarga de bomba a red.....	37
<b>Figura 25</b> Parámetros del cable Tipo SHD-GC 2kV de la marca Huandong.....	39
<b>Figura 26</b> Esquema de conexión indicado por el estándar de Buenaventura .....	41
<b>Figura 27</b> Diagramas unifilar del tablero de distribución que contiene al sistema de protección .....	42
<b>Figura 28</b> Monitor de falla a tierra y de continuidad del conductor de tierra – Marca Bender .....	43
<b>Figura 29</b> Esquema de conexión del kit de protección de la marca Bender .....	43
<b>Figura 30</b> Tablero completo de protección Ground Fault/Ground Check .....	44
<b>Figura 31</b> Kit de protección .....	45
<b>Figura 32</b> Módulo RC48C implementado en el tablero de control de bomba sumergible.....	45
<b>Figura 33</b> Diodo Zener del kit de protección.....	46
<b>Figura 34</b> Esquema de conexión eléctrica de una bomba Tsurumi LH-8110 .....	46
<b>Figura 35</b> Esquema de conexión del diodo Zener dentro de la bomba sumergible .....	47
<b>Figura 36</b> Ejemplo de conexión de la bomba sumergible. ....	47
<b>Figura 37</b> Ejemplo de conexión del transformador.....	48
<b>Figura 38</b> Transformador toroidal.....	49
<b>Figura 39</b> Limpieza de tableros durante parada de planta .....	52
<b>Figura 40</b> Limpieza de contactores .....	53
<b>Figura 41</b> Prueba de aislamiento de bomba sumergible .....	54
<b>Figura 42</b> Modelos de tablero que puede suministrar.....	55
<b>Figura 43</b> Tabla de componentes del tablero Ground Fault/Ground Check.....	56
<b>Figura 44</b> Diagrama unifilar de alimentación eléctrica de un variador de bomba sumergible.....	77
<b>Figura 45</b> Diagrama unifilar de conexión de una bomba sumergible .....	78
<b>Figura 46</b> Unifilar de Poza 103, usada como referencia para explicar la conexión Ground Fault/Ground Check .....	79

## Introducción

En la industria de la minería, la seguridad es considerada como un pilar fundamental en el desarrollo de las operaciones. Lo que comprende la implementación de estándares específicos para sus diferentes actividades, que van desde el ingreso a una sala de máquinas eléctricas o a un centro de control de motores hasta la ejecución de maniobras de alto riesgo (trabajos expuestos a cianuro). En el caso de equipos eléctricos que deben desplazarse para realizar su trabajo, se implementa un sistema de protección que garantice la seguridad tanto del operador como del equipo.

Este sistema consiste en monitorear de manera continua la conexión a tierra de la carcasa del equipo, con el fin de reducir el riesgo de pérdida de conexión debido al movimiento del equipo durante su funcionamiento. También, cuenta con una medida de protección adicional a través de un transformador toroidal, que realiza la suma vectorial de las intensidades de corriente con el fin de detectar posibles fugas.

Para implementar el sistema de protección Ground Fault y Ground Check se requiere de una inversión adicional con respecto al presupuesto previsto. El costo de implementación y adquisición del sistema es significativo, especialmente si se busca proteger todos los equipos de la unidad minera. Para el caso de la presente tesis, se ha considerado la protección de las bombas sumergibles, por ser los únicos equipos que cumplen con el perfil de estar en movimiento durante su operación y cuya alimentación de energía se realiza mediante cables blindados. Es importante mencionar que, en minas a tajo abierto como la descrita en esta tesis, la operación depende de un considerable número de bombas sumergibles esenciales para la producción.

Para mitigar el impacto económico que representa la implementación del sistema de protección, se propone un diseño óptimo con el fin de reducir su costo y hacerlo más accesible. Este diseño tiene como objetivo ampliar la protección de los equipos móviles, minimizando al mismo tiempo su costo de inversión.

Al simplificar el sistema de protección Ground Fault/Ground Check a una versión básica, la cual puede instalarse en un tablero arrancador existente y prescindir de un tablero completo; se logra reducir significativamente el costo de inversión, facilitando la protección de una mayor cantidad de equipos.

## Capítulo 1

### Información general

La protección de los motores eléctricos vinculados a la producción minera es considerada como una prioridad fundamental para las áreas de producción y mantenimiento, ya que es de suma importancia garantizar la seguridad, eficiencia operativa y vida útil.

Los motores eléctricos en la industria de la minería son fundamentales para accionar toda clase de equipos mecánicos dinámicos; desde los álabes de una bomba que transporta solución con minerales hasta las hélices de un ventilador que enfría el interior de un variador de frecuencias. Estos motores se encuentran presentes en equipos como bombas, ventiladores, fajas transportadoras, poleas y agitadores.

Dada su importancia en los procesos que confiere la actividad minera, se realizan múltiples esfuerzos para proteger y alargar su vida útil; lo que permite alcanzar alta confiabilidad, traducida en una mayor continuidad operativa en el proceso de producción y una reducción significativa de fallas que puedan detener la operatividad.

Las principales causas de fallas en los motores eléctricos de las bombas sumergibles se deben a las condiciones de operación en las que se desenvuelven. Entre las más comunes se encuentran las sobrecargas de tensión y las fallas a tierra.

Para la protección de motores eléctricos se utilizan dispositivos especializados de alta sensibilidad; los más comunes son los relés térmicos, fusibles, interruptores automáticos, sistemas de monitoreo de temperatura y relés diferenciales.

Los relés de protección diferencial tienen la característica de proteger los motores contra fallas a tierra y son diseñados para detectar fallas internas y actuar bajo un determinado tiempo. La clasificación de la falla y el tiempo de respuesta se calibra según las condiciones de trabajo del motor eléctrico a proteger. El sistema de protección está basado en la protección diferencial, que evalúa la igualdad de las corrientes de entrada y salida del motor; si las corrientes son diferentes existe fuga de corriente. Tras detectarse la diferencia, el relé diferencial espera el tiempo configurado para el tipo de trabajo del motor y procede a realizar la interrupción de energía; evitando así posibles accidentes como fallas a tierra, cortocircuito o electrocución de una persona.

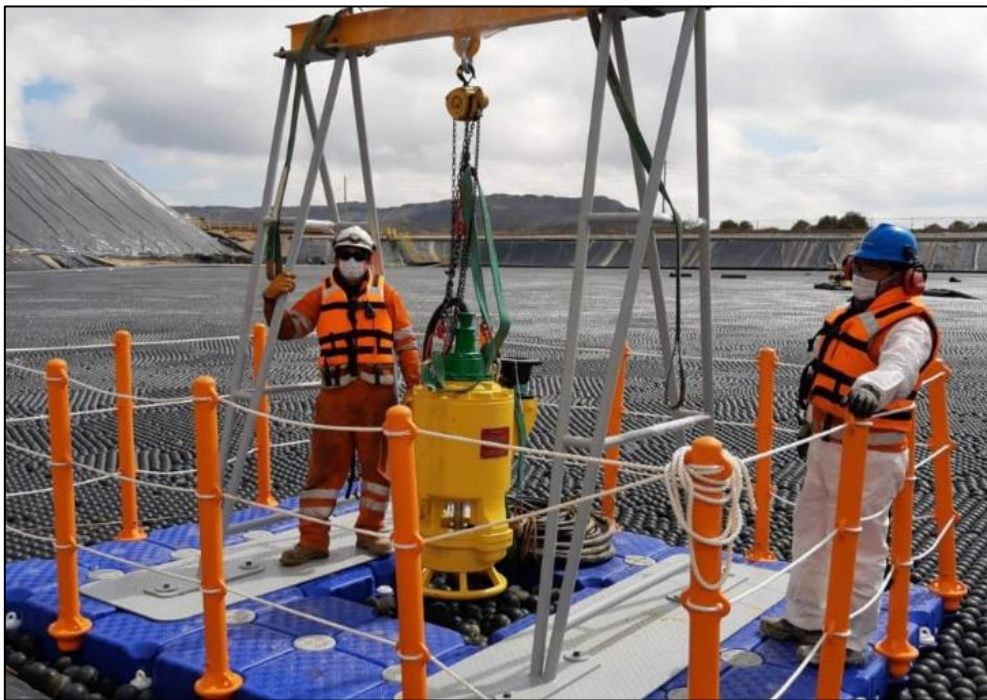
## 1.1 Introducción a la protección de equipos móviles en minería

La industria de la minería es uno de los sectores de mayor exigencia en operación y de seguridad. Las condiciones adversas como ambientes con alta humedad, vibraciones y polvo abrasivo representan riesgos considerables para la integridad y desempeño de los equipos móviles como lo son las bombas sumergibles (Ver Figura 1); las cuales desempeñan un rol importante en la productividad, eficiencia y sostenibilidad de las actividades mineras.

En este contexto, el presente documento expone conceptos básicos de las protecciones eléctricas que definen los estándares de seguridad exigidos por la minería moderna. El objetivo es proporcionar conceptos teóricos que permitan comprender el funcionamiento del sistema de protección Ground Fault/Ground Check.

**Figura 1**

*Equipo móvil en minería: bomba sumergible*



*Nota.* Bomba sumergible en poza de operaciones PLS1 – Lagunas Norte.  
Tomado de ITO, por Alvarado (2020)

### 1.1.1 Importancia de la protección en equipos móviles en minería

La protección de equipos eléctricos es fundamental para garantizar una producción continua y sin accidentes. Las condiciones ambientales adversas y los entornos usualmente hostiles incrementan la necesidad de proteger los equipos eléctricos, particularmente los motores eléctricos de las bombas sumergibles utilizadas en las pozas de las unidades mineras que operan a tajo abierto. Estas bombas están expuestas a factores como vibraciones, elevados niveles de carga, cortocircuitos y filtración de agua en los sellos herméticos.

Desde el punto de vista de seguridad, una falla en el motor de una bomba sumergible significa un riesgo potencial de electrocución para los operadores o el personal de mantenimiento. Por ese motivo, usar un sistema de protección eléctrico ayuda a disminuir considerablemente el riesgo de accidentes originados por sobrecargas, cortocircuitos o fallas eléctricas.

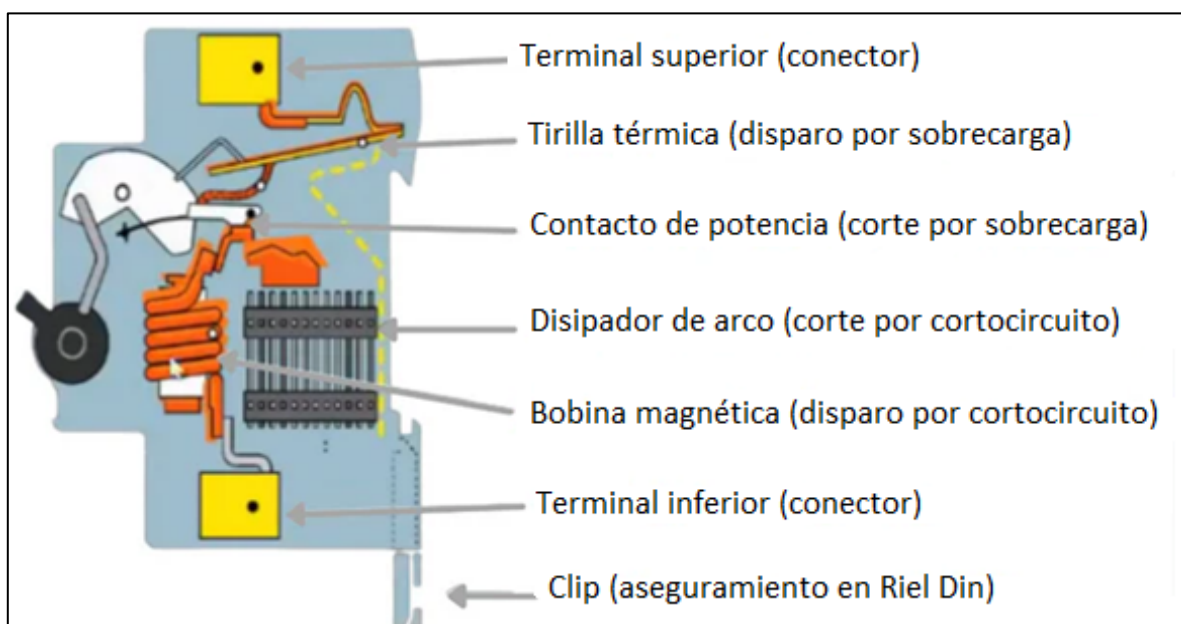
En términos de mantenimiento, la implementación de protecciones contribuye a extender la vida útil de los motores, reduciendo la frecuencia de mantenimientos correctivos que podrían interrumpir la producción por periodos de tiempo indefinido. Las nuevas tecnologías de protección permiten detectar y diagnosticar problemas de operación con antelación, facilitando la planificación de mantenimientos preventivos en lugar de correctivos.

Para las bombas sumergibles es esencial contar con una protección eléctrica adecuada que evite daños ocasionados por sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y otras condiciones adversas propias de su entorno operativo. La protección de las bombas sumergibles comparte el mismo objetivo y funcionamiento que el de otros equipos eléctricos similares.

**1.1.1.1 Interruptor de sobrecarga.** Es un dispositivo cuya función es interrumpir el flujo de corriente eléctrica de un circuito cuando se detecta que la corriente supera el valor preestablecido como seguro. En la Figura 2 se presentan las partes de un interruptor termomagnético, donde se logra evidenciar los componentes que son partes de la interrupción térmica y electromagnética.

**Figura 2**

*Partes de un interruptor termomagnético*



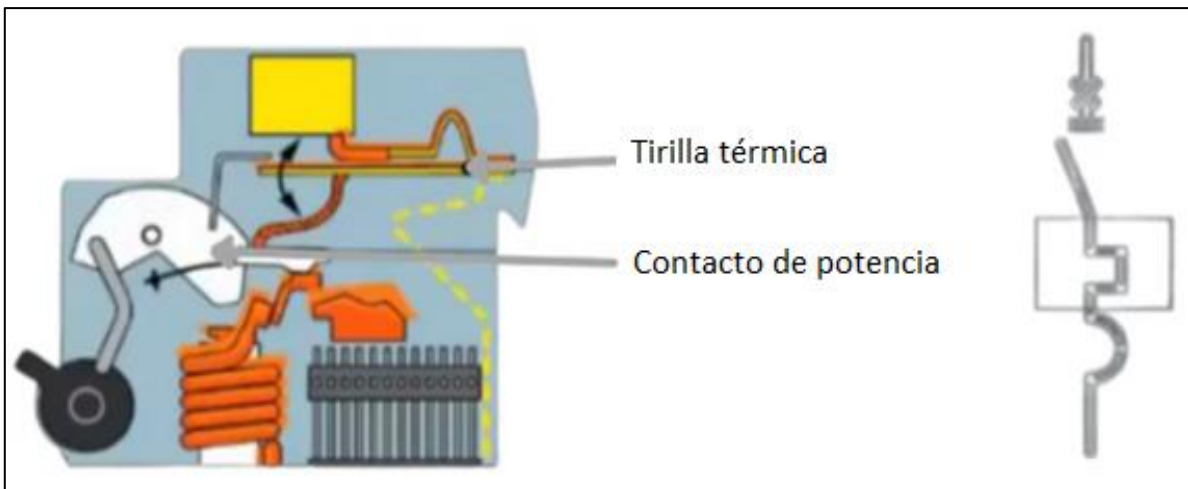
*Nota.* Tomado de FCM: Interruptores termomagnéticos. (FCM, 2021)

Su funcionamiento consiste en detectar la corriente mediante el monitoreo del flujo de corriente en el circuito, compara el valor que fluye por los cables con su valor nominal o valor límite de diseño propio del interruptor. Al detectar que el valor del cable es superior al establecido, activa un mecanismo interno que se divide en dos tipos: Interrupción térmica e Interrupción electromagnética. (FCM, 2021)

La interrupción térmica consiste en la deformación de una tirilla que se encuentra dentro del interruptor; cuando se incrementa el flujo de corriente que transita por el cable conductor, también aumenta la temperatura en el cable conductor. De esa manera el interruptor también experimenta el aumento de temperatura, sobre todo en la tirilla metálica; es por eso que esta se deforma, experimenta torsión empujando un gatillo que provoca la apertura del interruptor. Para una mayor referencia ver la Figura 3 donde se representa gráficamente los componentes y funcionamiento de este sistema de protección térmica. (FCM, 2021)

### Figura 3

*Representación gráfica del sistema de protección térmica*

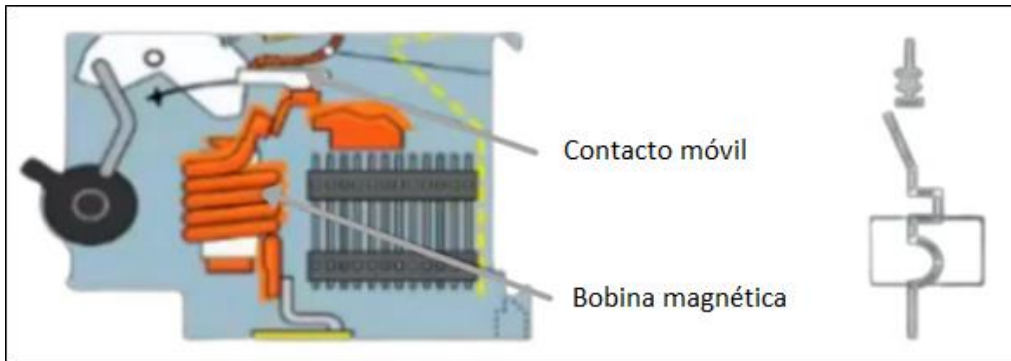


*Nota.* Tomado de FCM: Interruptores termomagnéticos. (FCM, 2021)

La Interrupción electromagnética consiste en una bobina magnética que se encuentra en el interior del interruptor. Cuando la corriente aumenta considerablemente entre 5 a 10 veces su valor nominal de diseño se genera un campo magnético en la bobina interna, comportándose como un electroimán atrayendo el contacto móvil del interruptor generando la apertura del circuito, presentando en la Figura 4 el funcionamiento de este sistema, así como los componentes que lo conforman. (FCM, 2021)

**Figura 4**

*Representación gráfica del sistema de protección electromagnética*



*Nota.* Tomado de FCM: Interruptores termomagnéticos. (FCM, 2021)

**1.1.1.2 Protección contra sobretensiones.** En este tipo de protección se hace referencia a un dispositivo, como el presentado en la Figura 5, diseñado para proteger a los componentes eléctricos y electrónicos de las sobretensiones que son picos de voltaje, donde inusualmente llegan a ser altos teniendo la capacidad de dañar a los componentes de una bomba sumergible. Las sobretensiones pueden originarse en líneas eléctricas, líneas telefónicas o antenas de comunicación, y son causadas por impulsos de conmutación de motores, tormentas eléctricas o la conexión y desconexión de grandes cargas eléctricas en el circuito. (Promelsa, 2024)

**Figura 5**

*Ejemplo de limitador de sobretensión*



*Nota.* Limitador de sobretensión T2 3P+N DE 40Ka, Uc 440V – 230V. Tomado de Promelsa Perú. (Promelsa, 2024)

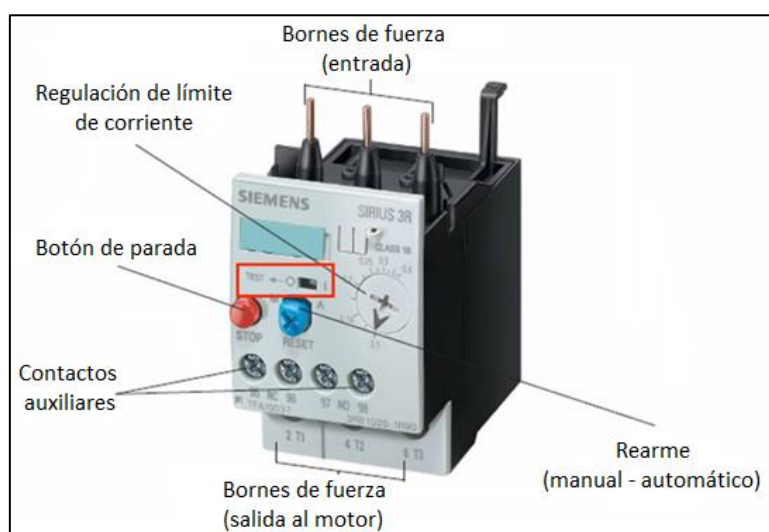
Esta protección se inicia con la detección del pico de voltaje, en la que el dispositivo se conecta en paralelo con el equipo a proteger. De esta manera asegurando recibir un voltaje constante. Es donde, cuando el dispositivo detecta un voltaje superior al valor permitido o máximo permitido; la protección se activa desviando el exceso de voltaje hacia la tierra, o transformando el exceso de voltaje en calor.

**1.1.1.3 Relé térmico y de sobrecarga.** El relé térmico es un dispositivo de protección de motores basado en la deformación térmica de los materiales, tiene en su interior una tira bimetalica sensible al calor que cuando se genera un aumento de corriente en el motor hay un aumento de temperatura en sus componentes y en su circuito de conexión (Ver Figura 6). Esto genera un aumento de temperatura en los cables aguas arriba del motor que se encuentra conectados al relé térmico de protección, donde el calor se transmite por conducción desde el motor hacia los cables dentro del relé y, a su vez, a la tira bimetalica la cual se deforma generando una torsión física y mueve el contacto del relé para abrir el circuito.

El relé puede funcionar con corriente alterna y continua según el modelo. Además de esto, presenta una gran versatilidad en la regulación del tiempo de disparo y de la corriente nominal de funcionamiento, lo que facilita los ajustes de la reacción del relé y, a la vez, graduar el nivel de protección, también tiene un botón de prueba para testear el funcionamiento.

La corriente de funcionamiento es directamente proporcional al esfuerzo que realiza el motor; en otras palabras, a mayor corriente y temperatura, mayor esfuerzo. Lo que genera que el relé se active en cuanto detecte una corriente mayor a la establecida como límite. (Endesa, 2023)

**Figura 6**  
*Relé de protección*



*Nota.* Tomado de Electrotec. (Electrotec, 2024)

### **1.1.2 Normativa aplicable a la minería para protección eléctrica**

La protección de equipos eléctricos es fundamental para la producción continua y la operación sin accidentes; por ejemplo, tomando como referencia las condiciones ambientales hostiles que agravan la necesidad de proteger a los motores eléctricos de las bombas sumergibles, las mismas que funcionan en las pozas de las unidades mineras. Usualmente estos equipos se encuentran expuestos a vibraciones, elevados niveles de carga, cortocircuitos y filtración de agua en los sellos herméticos; siendo todo lo antes mencionado agentes que generan una falla de cortocircuito o sobretensión.

La Norma Técnica R.M. N° 308-2001-EM/VME 3.4.3 de equipos móviles en minería indica que la alimentación de los equipos móviles como las bombas sumergibles que operan con voltajes superiores a los 300V y se energizan con un cable portátil de media tensión que cumpla con la norma NEMA No WC 58 y debe ser del tipo SHD-GC o similares. Además, deben de contar con una protección de falla a tierra y un monitoreo constante de la fuente, siendo lo recomendable tener tensiones de falla menores a 100V.

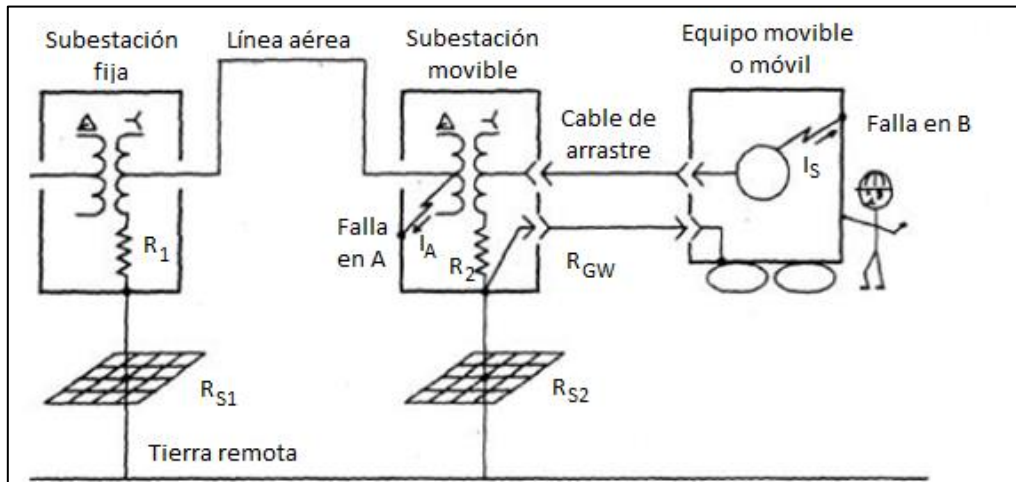
La Norma Técnica R.M. N° 308-2001-EM/VME 4.5.2 indica que el sistema de puesta a tierra de la bomba sumergible deberá ser monitoreada continuamente por un dispositivo (relé o controlador) que desconecte la alimentación en caso haya una apertura en el circuito de puesta a tierra del neutro.

La Norma canadiense M421-16 indica que las bombas sumergibles de consumo mayor a 150V deberán ser alimentadas por un cable portátil blindado con protección contra fallas a tierra y monitoreo; bajo la Norma CSA C22.2 No.96 el cable será tipo SHD y, en caso de trabajar con un voltaje superior a 750V, será del tipo SHD-BGC.

Este tipo de sistemas se conectan a tierra mediante una resistencia. Es común suponer un camino de falla de impedancia cero y considerar la resistencia de puesta a tierra del neutro para poder determinar la corriente de falla a tierra esperada; considerándose en el peor de los casos este valor para el cálculo de la elevación del potencial a tierra y la tensión de falla a tierra. (Ver Figura 7)

**Figura 7**

Esquema de conexión de una bomba sumergible (equipo móvil)



Nota. Tomado de Norma Técnica de Uso de la Electricidad en Minas (2001-07-16) R. M. N° 308-2001-EM/VME. (Ministerio de energía y minas , 2001)

La Norma Técnica de Uso de la Electricidad en Minas (2001-07-16) R. M. N° 308-2001-EM/VME, expone las siguientes fórmulas que contribuyen en la evaluación del potencial a tierra y tensión de falla a tierra.

- **Corriente falla esperada ( $I_A$ ):**

$$I_A = \frac{V_{LN}}{R_1}$$

Donde:

- $I_A$ : Corriente de falla esperada
- $V_{LNF}$ : Tensión de línea a neutro en el secundario del transformador de la subestación fija.
- $R_1$ : Resistencia de puesta a tierra del neutro.

- **Elevación del potencial a tierra en la subestación móvil ( $P_{EPT}$ ):**

$$P_{EPT} = I_A * R_{S2}$$

Donde:

- $P_{EPT}$ : Elevación del potencial a tierra en la subestación móvil.
- $I_A$ : Corriente de falla esperada.
- $R_{S2}$ : Resistencia de tierra de la subestación.

Esta elevación del potencial de tierra será transferida a la estructura de los equipos alimentados por cables de arrastre.

- **La corriente de falla esperada ( $I_B$ ):**

$$I_B = \frac{V_{LNM}}{R_2}$$

Donde:

- $I_B$ : Corriente de falla esperada.
- $V_{LNM}$ : Tensión de línea a neutro en el secundario del transformador de la subestación móvil.
- $R_2$ : Resistencia del neutro del transformador.

- **La tensión de falla a tierra en la estructura del equipo ( $V_{Falla}$ )**

$$V_{Falla} = I_B * R_{GW}$$

Donde:

- $V_{Falla}$ : Tensión de falla a tierra en la estructura del equipo alimentado por el cable de arrastre.
- $I_B$ : Corriente de falla esperada.
- $R_{GW}$ : resistencia de la línea de tierra.

La persona que entre en contacto con la estructura de la bomba sumergible alimentada por el cable de arrastre estará expuesta a una elevación de potencial a tierra transferida cuando ocurre una falla en A; y, a una tensión de falla a tierra cuando la falla ocurre en B.

## 1.2 Tipos de falla a tierra y sus implicaciones

Una falla a tierra es la circulación de corriente eléctrica fuera de los conductores o circuitos en los que debería transitar; es decir, cuando la corriente circula por los materiales sin aislamiento que no están diseñados para ser conductores. Por ejemplo, en el caso de los motores eléctricos, la corriente de falla circula por la carcasa, pernos de anclaje del motor o por cualquier otra superficie conductora que no está diseñada para ser conductor eléctrico.

La corriente de falla ocurre por diferentes motivos; se puede originar cuando un cable conductor, que se encuentra suelto hace contacto con la estructura del motor o, también, con la pérdida de aislamiento en un conductor eléctrico interno. Este tipo de fallas es un peligro inminente para la integridad física de las personas que trabajan directamente con el equipo con falla a tierra, ya que el contacto entre las personas y el equipo energizado pueden ocasionar quemaduras o electrocución con consecuencias mortales. También, considerando su impacto en la parte operativa o industrial al estar propenso a ocasionar fallas a gran escala con el riesgo de destruir el mismo equipo y todo el sistema industrial que le confiere.

### 1.2.1 Tipos de fallas comunes en equipos sumergibles

Las bombas sumergibles son equipos electromecánicos diseñados para trabajar sumergidos en el fluido que se requiera bombear; se caracterizan por su capacidad, forma constante y eficiencia para bombear. Este equipo presenta un diseño hermético para evitar el ingreso del agua, por lo que su motor eléctrico se encuentra acoplado directamente a la bomba. (Dynapr, 2024)

Al ser estos equipos los indicados para trabajar sumergidos y bombear fluidos en contenedores de gran profundidad como pozas de almacenamiento y cisternas, pueden cambiar su profundidad en relación con la superficie del fluido (Ver Figura 8). Según su uso y aplicación, se selecciona el tipo de material de fabricación; por ejemplo, si se requiere trabajar con agua o lodos, la bomba estaría fabricada de fierro fundido, mientras que, para trabajar con fluidos altamente corrosivos, se optaría por las de acero inoxidable. (Dynapr, 2024)

Entre los diferentes tipos de bombas se tiene las siguientes:

- Bombas de drenaje: utilizadas en sistemas de agua potable o agua de lluvia.
- Bombas de achique: utilizada para drenar aguas contaminadas o con partículas en suspensión.
- Bombas de pozo: utilizadas para drenar agua de pozos o perforaciones de gran profundidad.
- Bombas de lodo: utilizada para drenar fluidos con gran concentración de sólidos, de mayor densidad y lodos.
- Bombas grinder: utilizada para aguas residuales, y con la capacidad de triturar sólidos.

**Figura 8**

*Bomba sumergible*



*Nota.* Tomado de DYNAPR (Dynapr, 2024)

## **1.2.2 Efectos de las fallas a tierra en los equipos y en las personas**

### **1.2.2.1 Efectos en los equipos.**

- Sobrecalentamiento: aumento de calor en las bobinas del motor, dañando los materiales aislantes y la vida útil del motor.
- Daño en el aislamiento: el flujo de corriente a través de un aislamiento averiado, deteriorando al conductor, por lo tanto, generando una falla a mayor escala.
- Interrupciones en el circuito: se activan los detectores de falla, deteniendo la operación y producción.
- Pérdida de eficiencia: consumo de mayor energía para realizar el trabajo, aumentando el costo de producción.

### **1.2.2.2 Efectos en las personas.**

Las fallas a tierra en las personas traen consecuencias de alto peligro cuando se produce un contacto directo y la corriente circula por el cuerpo humano, generando diversos efectos como quemaduras en la piel, asfixia, contracción muscular, paros cardiacos, caídas a distinto nivel, muerte por fibrilación ventricular.

- Asfixia: ocurre cuando el centro nervioso del cerebro encargado de regular la respiración es afectado por la corriente, pudiendo llegar a darse un paro respiratorio.
- Electrificación: ocurre cuando la persona se comporta eléctricamente con un conductor de corriente, teniendo un punto de ingreso de corriente y un punto de salida.
- Electrocutión: hace referencia a la muerte por el ingreso de corriente eléctrica al cuerpo.
- Fibrilación ventricular: ocurre cuando el corazón cambia el ritmo con el que late debido a su exposición a la corriente eléctrica.
- Tetanización: ocurre cuando los músculos del cuerpo se mueven de forma incontrolada como consecuencia de la exposición a la corriente eléctrica.

En la Tabla 1 se presenta algunos efectos fisiológicos producidos por el paso de una corriente eléctrica en el cuerpo humano en función de diferentes niveles de intensidad.

**Tabla 1**

*Efectos fisiológicos producidos por el paso de una corriente eléctrica en el cuerpo humano*

<b>Intensidad</b>	<b>Efectos fisiológicos que se observan en condiciones normales</b>
0 – 0.5 mA	No se observan sanciones ni efectos. El umbral de percepción se sitúa en 0.5 mA.
0.5 – 10 mA	Calambres y movimientos reflejos musculares. El umbral de no soltar se sitúa en 10 mA.
10 – 25 mA	Contracciones musculares. Agarrotamiento de brazos y piernas con dificultad de soltar objetos. Aumento de la presión arterial y dificultades respiratorias.
25 – 40 mA	Fuerte tetanización. Irregularidades cardíacas. Quemaduras. Asfixia a partir de 4 segundos.
40 – 100 mA	Efectos anteriores con mayor intensidad y gravedad. Fibrilación y arritmias cardíacas.
~ 1A	Fibrilación y paro cardíaco. Quemaduras muy graves. Alto riesgo de muerte.
1 – 5 A	Quemaduras muy graves. Parada cardíaca con elevada probabilidad de muerte.

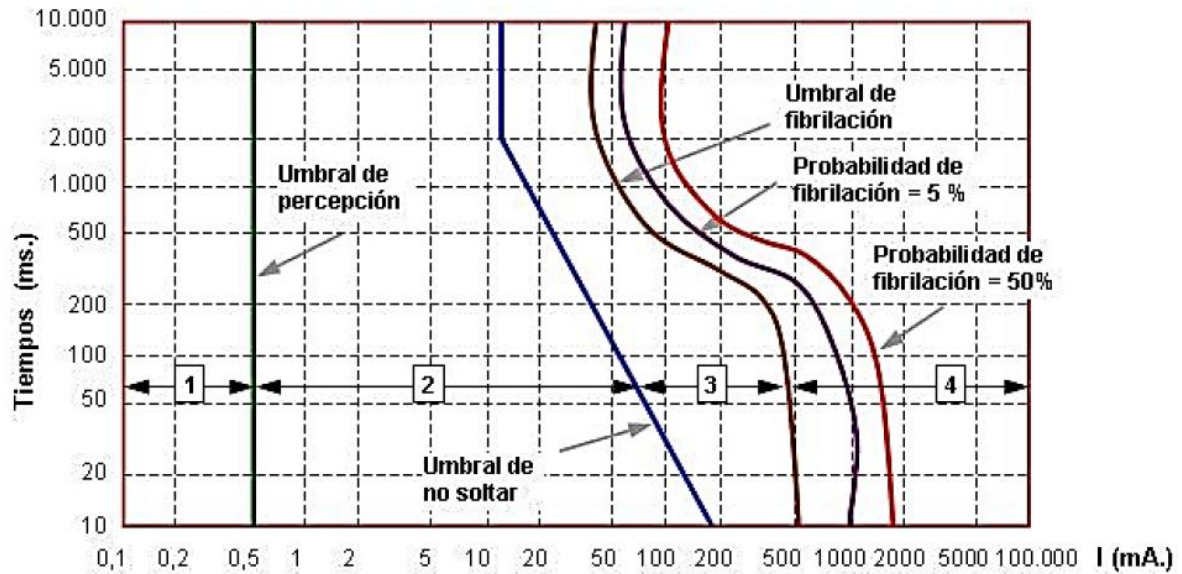
*Nota.* Adaptado de Implementación de monitores de falla para mejorar la protección en los circuitos de baja tensión de las cargas móviles y movibles en la Unidad Minera Chungar – Volcan. (p.45). (Antonio, 2023)

El cuerpo humano está sujeto a los efectos de la corriente eléctrica que está directamente relacionada con la duración del tiempo y la intensidad de paso de la corriente en el cuerpo humano. (Antonio, 2023, p. 45)

Se tienen diferentes umbrales de percepción del ser humano a la electricidad, así como las reacciones que estas generan, los mismos que son descritos a continuación en la Figura 9:

Figura 9

Tabla de umbral de corriente eléctrica



Nota. Tomado de Potencia (p.42) (Cruz, 2016)

- Umbral de percepción: es el rango más bajo de corriente y las personas no sienten ningún efecto de corriente. En el caso de la corriente continua el umbral va de 0 a 2mA, mientras que en la corriente alterna va de 0 a 5mA.
- Umbral de reacción: es el rango en que la corriente llega a provocar una contracción muscular leve, sin mayor riesgo fisiológico.
- Umbral de no soltar: es el umbral máximo que una persona puede soportar y soltar el elemento conductor. Si la exposición a corriente dura más de 2 segundos puede producir contracciones musculares que dificultan la respiración o causar un paro temporal del corazón.
- Umbral de fibrilación ventricular: es el valor más bajo de intensidad de corriente con el que se puede generar un paro cardíaco, paro respiratorio, quemaduras graves y la muerte.

En la Tabla 2 se presenta los principales efectos fisiológicos de la corriente en las personas en relación a los umbrales presentados en la Figura 9.

**Tabla 2***Resumen de umbral de corriente*

Zona	Efectos fisiológicos
<b>Zona 1</b>	Hasta los 0.5 mA, no se presenta ninguna reacción y es independiente del tiempo de acción.
<b>Zona 2</b>	Zona definida entre la recta para $I = 0.5 \text{ mA}$ y aproximadamente la curva $I = I_0 + (10/t)$ , siendo $I_0$ el corriente límite del umbral de control muscular de no soltar ( $I_0 = 10\text{mA}$ ) y el tiempo (t) expresado en segundos.
<b>Zona 3</b>	Aunque no se presenta riesgo de fibrilación ventricular, pero si presenta riesgo de asfixia, de tetanización muscular y de perturbaciones en el ritmo cardiaco, agravándose los efectos con el tiempo de exposición. El choque o descarga eléctrica es muy doloroso.
<b>Zona 4</b>	Zona en donde presenta riesgos de fibrilación ventricular agravados en fusión de la intensidad y del tiempo de actuación. Los efectos de corriente continua son unas cuatro veces menores que los correspondientes a corriente alterna a 50 Hz, pero sin embargo hay que tener en cuenta los fenómenos electrolíticos que puede originar la corriente continua.

*Nota.* Tomado de Implementación de monitores de falla para mejorar la protección en los circuitos de baja tensión de las cargas móviles y movibles en la Unidad Minera Chungar – Volcan. (p.45). (Antonio, 2023)

### 1.3 Sistema de protección Ground Fault y Ground Check

El sistema de protección Ground Fault/Ground Check es un mecanismo de protección de instalaciones eléctricas de equipos en movimiento, como es el caso de una bomba sumergible que trabajo de acuerdo al nivel del agua.

Este sistema combina los dos tipos de protección, la protección a tierra y la protección diferencial de corriente; de esta manera se asegura resguardar el equipo y salvaguardar la vida de la persona humana que podría estar en contacto con este.

Protege contra fallas a tierra y verifica la integridad de la conexión a tierra para disminuir el riesgo de accidentes eléctricos, incendios o daños a la bomba sumergible. Este sistema es usado mayormente en el rubro minero debido al elevado estándar de seguridad que tienen para los equipos eléctricos y para el personal que manipula las bombas.

La conexión del sistema Ground Fault/Ground Check nace desde el relé de protección o también llamado módulo de protección, el cual se conecta en dos circuitos independientes para cada tipo de protección.

### 1.3.1 Definición y funciones del sistema Ground Fault

El sistema de protección Ground Fault se enfoca en las fallas a tierra de los equipos móviles como es el caso de las bombas sumergibles. La falla a tierra consiste en la circulación de corriente por aquellas partes del equipo que no tienen la función de ser conductores de energía eléctrica.

Esta falla se origina cuando se energizan componentes del equipo, muy aparte de los componentes que sí deben estar energizados como es el caso del núcleo magnético de los motores de la bomba. Realizar la energización de la estructura o componentes de la bomba sumergible o cualquier equipo móvil que funciona con energía eléctrica, es indispensable por el mismo funcionamiento del equipo, debido a que la parte energizada o eléctrica del motor de la bomba trabaja de forma continua en condiciones herméticas, siendo la causa de la falla en la tierra las condiciones de operación. La falla a tierra puede darse por:

- Pérdida de aislamiento en los cables conductores que alimentan al motor eléctrico.
- La vibración constante generada por el mismo funcionamiento del equipo puede provocar el desprendimiento de un cable conductor, que al entrar en contacto con la estructura y esta sea fabricada de acero fundido o acero inoxidable, la energía se expandirá por toda la bomba sumergible.
- Para los equipos como las bombas sumergibles, es muy común que la humedad ingrese al motor por la pérdida de aislamiento en los sellos hidráulicos. Provocando una fuga de corriente que se propaga por la conducción eléctrica del agua.

El funcionamiento del sistema Ground Fault consiste en detectar pequeñas fugas de corriente que se desvían a la carcasa del equipo, utilizando dispositivos de protección como interruptores de circuito o dispositivos de corriente residual. Estos dispositivos utilizan un toroide para medir el flujo de corriente en las tres fases de alimentación, el cual se encuentra instalado aguas abajo del interruptor general del tablero de alimentación de la bomba sumergible. El toroide mide el flujo de corriente en los tres cables conductores, y cuando la corriente presente un diferencial de flujo mayor a 30mA, esto será detectado e interpretado que se debe a una fuga a tierra, procediendo a abrir el circuito.

La protección Ground Fault se compone de los siguientes elementos: Sensor de corriente de fuga, módulo de detección de corriente residual y alarma. Sin embargo, se tiene que la protección mediante el sistema Ground Fault es ineficiente para proteger sobrecargas en el circuito o cortocircuitos, siendo lo ideal el uso de otros dispositivos como relés térmicos o fusibles.

### 1.3.2 Definición y funciones del sistema Ground Check

El sistema Ground Check está diseñado para verificar la existencia de una conexión a tierra constante en todo momento, se usa en equipos móviles y tiene la tarea de verificar la constante conexión a tierra del cable que protege al equipo y a las personas de descargas eléctricas.

Este sistema monitorea constantemente la conexión a tierra del equipo para asegurar una protección total. En el caso que se detecte una apertura de circuito en el cable a tierra, el módulo procede a desconectar el equipo y emite una alarma.

La conexión del sistema se basa en un circuito cerrado del cable a tierra del equipo móvil, conectando la línea a tierra que llega con los cables de alimentación con la estructura de la bomba sumergible o su borne de conexión de aterramiento. Luego se conectan en serie con el relé o módulo de detección, donde este módulo tiene la conexión a tierra, y es aquí donde se cierra el circuito de protección a tierra.

El sistema Ground Check está conformado por los siguientes elementos:

- Conductor de verificación de tierra o cable piloto: es el típico conductor o cable de aterramiento que se utiliza para aterrizar los equipos, a través de este cable se envía una señal desde el módulo de monitoreo para verificar la conexión del sistema de protección.
- Módulo o relé de monitoreo: supervisa la continuidad del cable de verificación a tierra, realizando el monitoreo mediante el envío de señales de corriente de bajo amperaje y esperando el retorno de la señal. En el caso de no recibir la señal de retorno, el módulo interpreta que existe una desconexión del cable a tierra y no se está protegiendo el equipo, procediendo la apertura del circuito de alimentación.

## 1.4 Componentes clave del sistema de protección

### 1.4.1 Módulo de protección

El módulo de protección es un relé diseñado para mitigar los efectos de sobretensiones, fallas a tierra, transitorios eléctricos y detectar anomalías en la conexión a tierra de protección.

**1.4.1.1 Módulo RC48C Bender.** Es un monitor de falla a tierra y de continuidad del conductor de tierra, diseñado para sistemas de corriente alterna tal y como se puede apreciar en la **Figura 10**. El RC48C tiene un relé de falla a tierra que monitorea sus corrientes de defecto, los detecta a través de un transformador de corriente que mide su variación en los cables de alimentación. También tiene un monitor de continuidad de tierra para inspeccionar la continuidad del conductor de aterramiento, este monitoreo se hace mediante un cable piloto conectado en serie con la masa de la bomba sumergible. Los complementos que son parte de esta conexión son el cable conductor a tierra, el borne de masa o de tierra de la bomba, el diodo Zener y el

módulo RC48C. Su conexión parte desde el cable de tierra que proviene del tablero hasta el borne de masa, conectando esto al ánodo del diodo Zener, y finalmente, conectar el cátodo del diodo al módulo. (Ver **Figura 11**)

Características principales:

- Se puede regular los valores de alarma de falla a tierra y de retraso de tiempo.
- Operación de enclavamiento.
- Mide la corriente residual mediante un transformador de corriente residual.
- Reconoce las fallas de resistencia en serie y fallas de resistencia cruzada.
- El relé de alarma se puede utilizar para el disparo de un interruptor de derivación.
- Cuando desaparece la causa de la alarma, el módulo se desactiva automáticamente.

Aplicaciones:

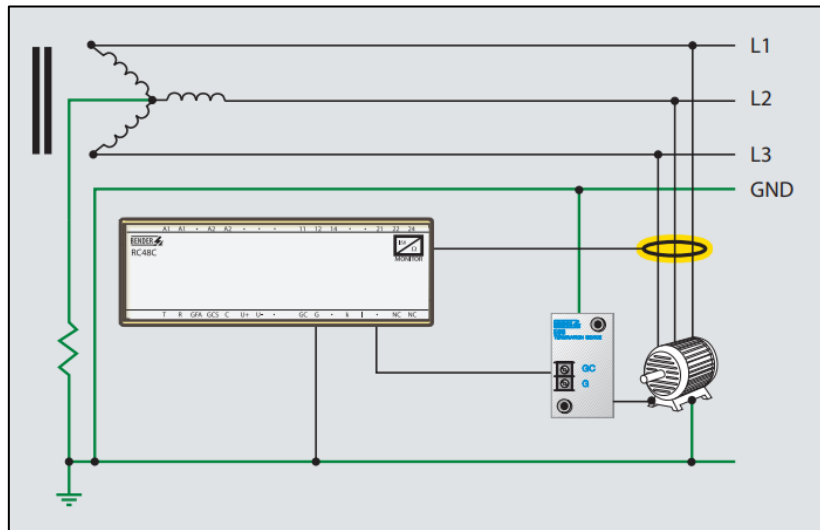
- Instalaciones de puesta a tierra de alta resistencia con una corriente de falla limitada de 5 a 25 A.
- Protección de personas y equipos móviles contra las fallas a tierra o pérdidas de aislamiento.
- Se puede utilizar en sistemas eléctricos aislados a tierra (IT), sólidamente aterrizados (TN, TT) y con resistencia a tierra neutro (NGR).

**Figura 10**

*Módulo RC48C de la marca Bender*



*Nota.* Tomado de Manual RC48C 2020 (p.1), Bender (Bender, 2020)

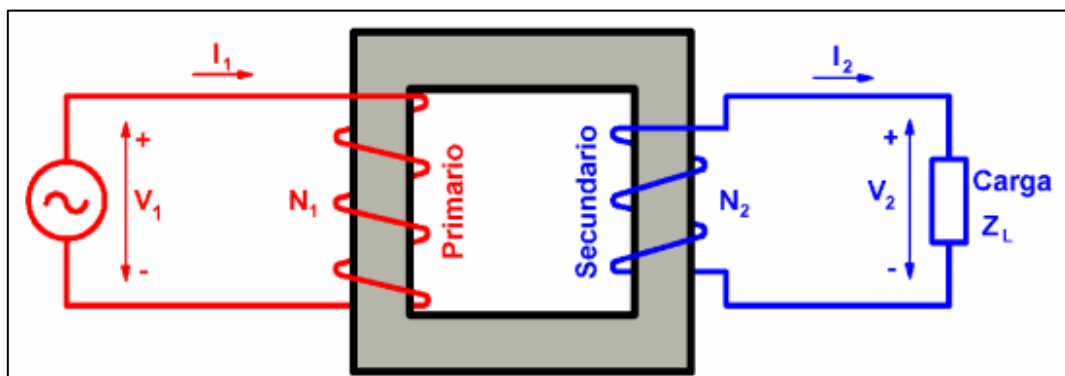
**Figura 11***Esquema de conexión del módulo RC48C*

*Nota.* Tomado de Seguridad Eléctrica en Minería y Aplicaciones Mineras 2013 (p.6), Bender (Bender, 2013)

#### 1.4.2 Transformador de corriente

Un transformador es una máquina estática que contiene dos bobinados de corriente alterna enrollados sobre un núcleo magnético. El bobinado por donde ingresa la corriente al transformador se le denomina bobinado primario, y por donde sale la corriente del transformador, bobinado secundario.

Cada bobinado tiene un número determinado de espiras, al número de espiras del bobinado primario se lo representa con  $N_1$  y al número de espiras del bobinado secundario se lo representa con  $N_2$ . La corriente y voltaje que transitan por el bobinado primario se denominan  $I_1$  y  $V_1$ , mientras que la corriente y voltaje que transitan por el bobinado secundario se denominan  $I_2$  y  $V_2$ ; tal y como se representa en la Figura 12.

**Figura 12***Esquema de funcionamiento de un transformador*

*Nota.* Tomado de Transformadores (p.1) (Pozueta, Transformadores, 2008)

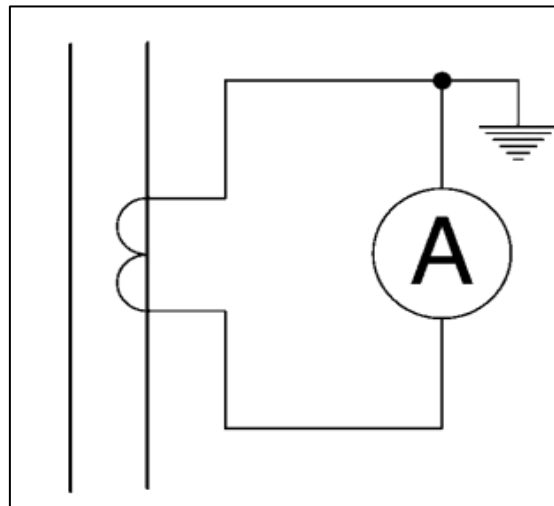
El transformador tiene un circuito magnético conformado por un núcleo magnético formado por láminas de acero al silicio compactas y aisladas entre sí, diseño que ayuda a reducir pérdidas magnéticas en el transformador. (Pozueta, Transformadores, 2008)

La transformación de corriente se origina según el principio de la Ley de Faraday, la  $I_1$  y  $V_1$  que ingresan por el bobinado primario, induciendo en el secundario una fuerza electromotriz que da lugar a una  $I_2$  y  $V_2$  en sus respectivos bornes. Teniendo en cuenta que el principio sólo se da para tensión alterna, además la relación de transformación sirve para un mayor control de los valores de la tensión. (Pozueta, Transformadores, 2008)

Cuando el transformador de corriente se utiliza como una protección, la conexión al circuito se realiza como el ejemplo mostrado en la Figura 13:

**Figura 13**

*Transformador de corriente de protección*



*Nota.* Tomado de Maquinas eléctricas II (p. 98), por Pozueta (2018).

Este transformador funciona como una reducción de corriente que permite aislar galvánicamente el circuito a través del bobinado primario, mientras que el bobinado secundario va alimentando un relé de protección o equipo de protección; teniendo así, la capacidad de detectar cortocircuitos y sobrecargas ante corrientes superiores a la corriente asignada. (Pozueta, Máquinas Eléctricas II, 2018)

En el bobinado primario se conecta la corriente  $I_1$  que se desea medir y en el bobinado secundario se alimenta con la corriente  $I_2$  al aparato de medición. Si se divide  $I_1$  con  $I_2$  se obtiene la relación de transformación asignada  $\alpha_i$  del transformador de corriente:

$$\alpha_i = \frac{I_1}{I_2}$$

El error de relación  $\varepsilon_i$  se da cuando el transformador de corriente funciona con una carga determinada. Se expresa en porcentaje:

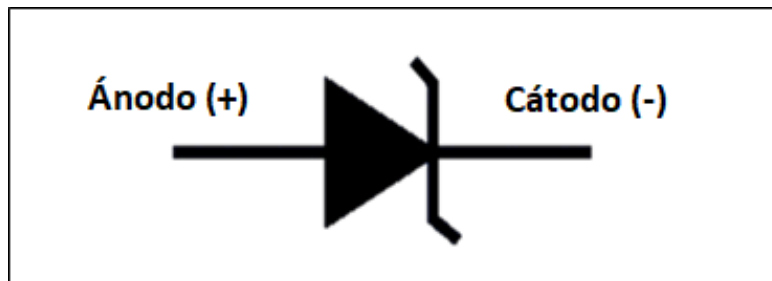
$$\varepsilon_i = \frac{(\alpha_i \times I_2) - I_1}{I_1} \times 100(\%)$$

### 1.4.3 Diodo Zener

El diodo Zener es un componente electrónico diseñado para permitir el flujo de corriente eléctrica continua o alterna en un solo sentido. Se compone de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos: uno positivo y el otro negativo. Al terminal positivo se le denomina ánodo y al terminal negativo, cátodo. (Ver Figura 14)

**Figura 14**

*Diodo Zener*

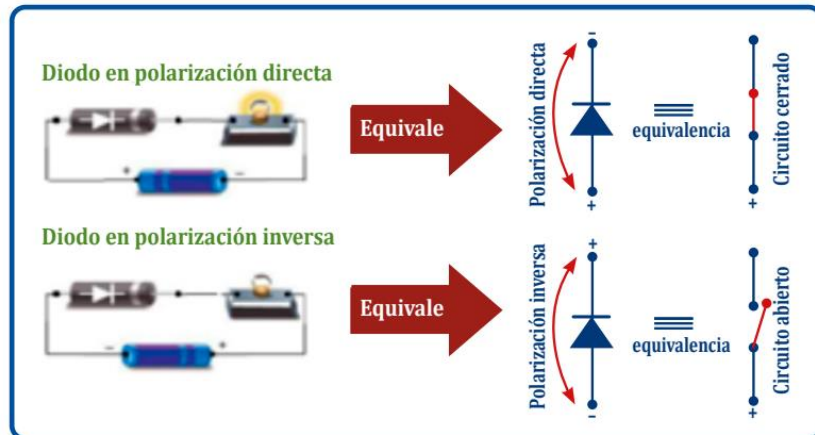


*Nota.* La figura muestra el esquema de un diodo Zener.  
Tomado de Potencia hp (Potencia hp, 2023)

El diodo Zener trabaja de forma similar al de un diodo convencional con la característica de permitir el flujo de corriente eléctrica cuando se polariza inversamente, lo que quiere decir que el flujo de corriente va en dirección contraria a la del diodo; presentando en la Figura 15 su conexión para los dos tipos de polarización. El paso de corriente desde el ánodo hacia el cátodo se conoce como polarización directa, siendo el diodo el que permite el paso de corriente. Por el contrario, cuando la corriente fluye desde el cátodo hacia el ánodo, se le conoce como polarización inversa, y es ahí donde el diodo restringe el paso de la corriente.

El diodo Zener permite el flujo de corriente alterna o continua desde el cátodo hacia el ánodo, con la restricción de tener un determinado voltaje para ello. Ese voltaje se lo denomina voltaje de ruptura, cumpliendo su función de estabilizador de tensión.

**Figura 15**  
*Diodo polariza directa e indirectamente*

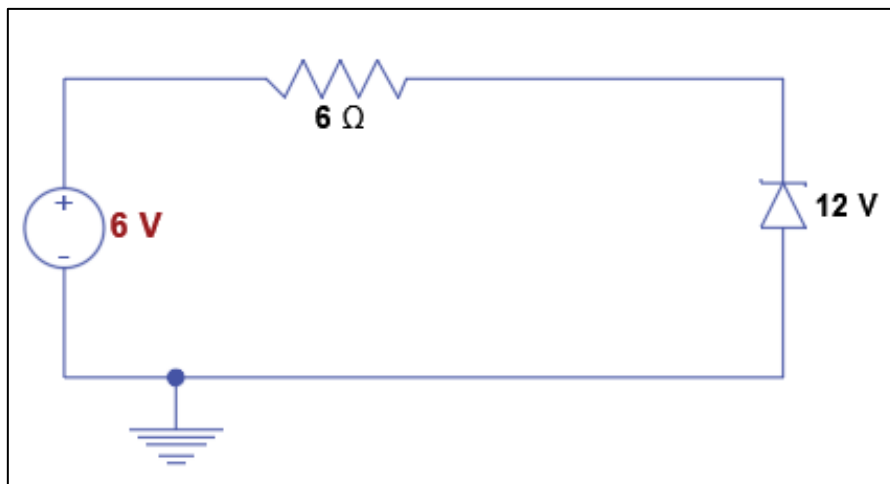


*Nota.* Tomado de Manual de cátedra Fundamentos de Electrónica (p.45) (López, 2019)

A continuación, se presenta dos ejemplos:

Ejemplo 1: Si un circuito tiene una fuente de 6V, una resistencia de  $100\ \Omega$  y un diodo Zener de 12V en polarización inversa (Referencia Figura 16); debido a que el voltaje de la fuente es menor que el voltaje de ruptura del diodo Zener, la corriente no podrá pasar, por lo que en la resistencia se dejará un voltaje igual a cero. (Referencia Figura 17).

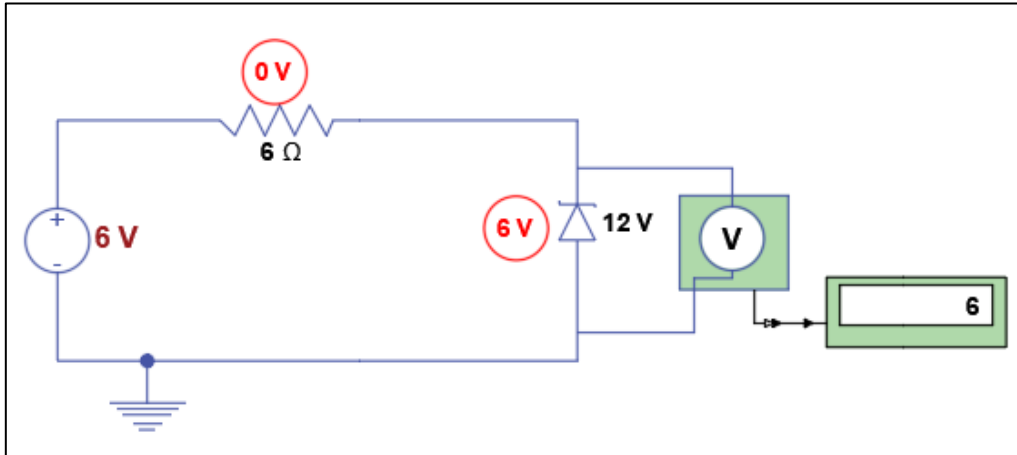
**Figura 16**  
*Ejemplo de aplicación de un diodo Zener para una fuente menor al voltaje de ruptura.*



*Nota.* Tomado de Potencia hp (Potencia hp, 2023)

**Figura 17**

*Medición de voltaje en la resistencia y en el diodo Zener.*

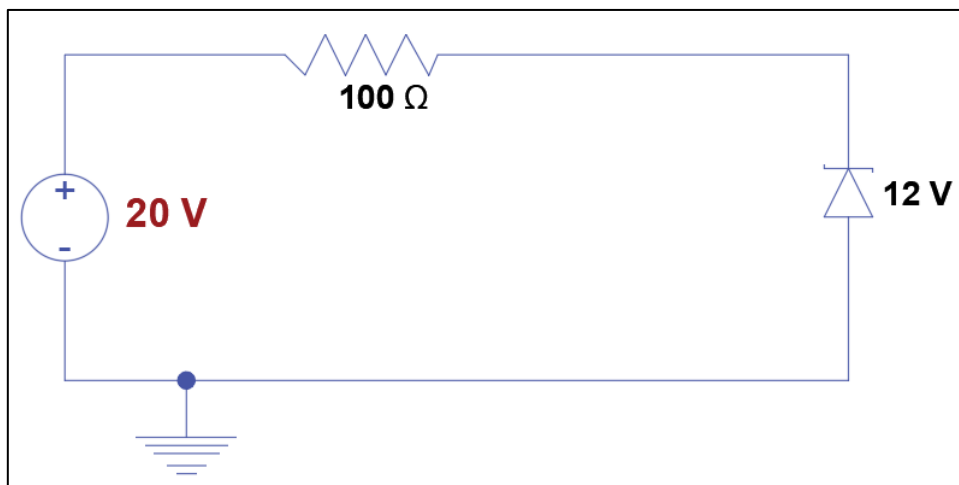


*Nota.* El voltaje en el diodo Zener es igual al de la fuente, dejando un voltaje igual a cero en la resistencia. Tomado de Potencia hp (Potencia hp, 2023)

**Ejemplo 2:** Si un circuito tiene una fuente de 20V, una resistencia y un diodo Zener de 12V en polarización inversa (Ver Figura 18). La corriente fluye porque el voltaje de la fuente es mayor al del diodo Zener, dejando en la resistencia una tensión de 8V y en el diodo Zener 12V (Ver Figura 19).

**Figura 18**

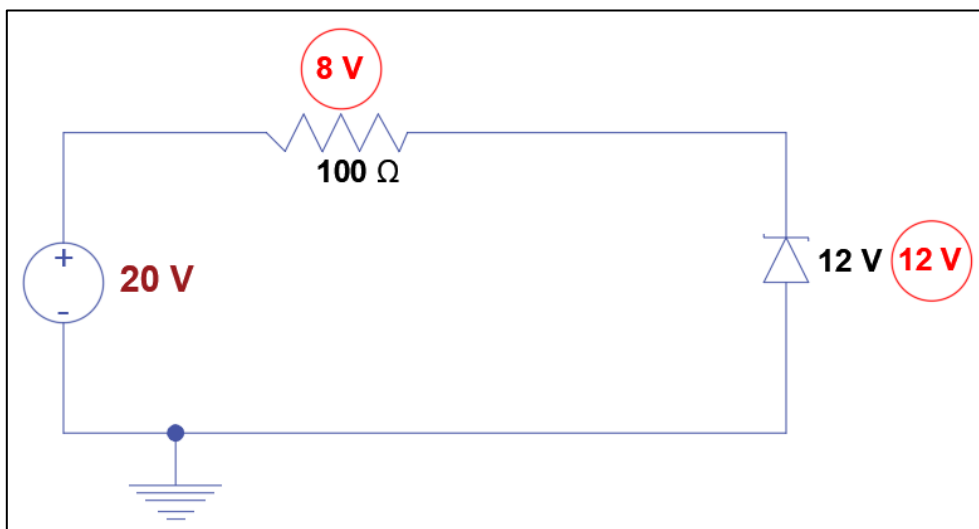
*Ejemplo de aplicación de un diodo Zener para una fuente de mayor voltaje de ruptura.*



*Nota.* Tomado de Potencia hp (Potencia hp, 2023)

**Figura 19**

*Medición de voltaje en el circuito*



*Nota.* La figura muestra el voltaje en la resistencia y en el diodo Zener. Tomado de Potencia hp (Potencia hp, 2023).

## Capítulo 2

### Desarrollo del trabajo

Las bombas sumergibles forman parte de la cadena de producción de una mina a tajo abierto, desempeñando un papel fundamental en el movimiento de minerales disueltos en agua y en el drenaje de aguas residuales. La capacidad de las bombas para trabajar en condiciones extremas como agua corrosiva, las convierte en equipos indispensables para la generación del mineral. Sin embargo, al trabajar en entornos tan agresivos, las bombas se exponen a riesgos eléctricos como fallas a tierra que afectan directamente a la producción.

Para reducir los riesgos de falla se implementan protecciones eléctricas como el sistema de protección Ground Fault/Ground Check que combina la detección de fallas a tierra y el monitoreo constante del circuito de aterramiento. La falla a tierra identifica corrientes no deseadas que genera fallas en la bomba mientras que el monitoreo de la conexión a tierra verifica que el equipo esté todo el tiempo conectado a tierra.

#### 2.1.1 Descripción técnica de la bomba sumergible Tsurumi LH8110

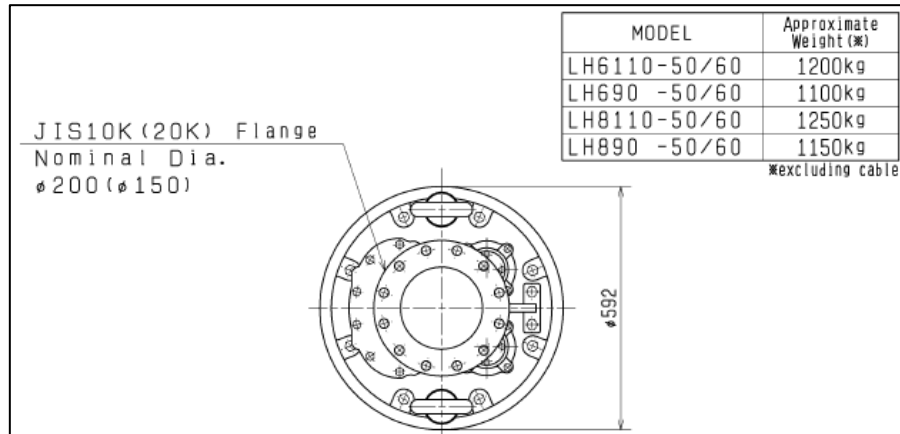
La bomba sumergible LH8110 de la marca Tsurumi es una bomba de gran altura para drenar agua, bombear aguas pluviales, subterráneas y agua con presencia de arena. A continuación, se presentan las características de este equipo. (TSURUMI PUMP)

- Trabaja entre las temperaturas: 0°C – 40°C.
- Descarga y conexión es bridado atornillada JIS 10  $\frac{kg}{cm^2}$  de 200mm.
- Inducción seca y servicio continuo.
- Aislamiento F y grado de protección IP68.
- Tiene 02 polos.
- Velocidad sincrónica de 3600  $min^{-1}$
- Voltajes nominales de 380 V – 214 A y 440 V – 185 A.
- Frecuencia: 60Hz
- Calibre de cable de alimentación: 200mm
- Fases: 3
- Método de arranque: Estrella - Delta
- Salida: 110kW
- Cabeza máxima: 107/114 m
- Capacidad máxima: 8.5  $\frac{m^3}{min}$
- Peso: 1250 kg

En las Figura 20, Figura 21 y Figura 22, respectivamente, se presentan diferentes vistas de este equipo. En el Anexo B se adjunta la ficha técnica de la bomba sumergible (Tsurumi Pump, Specifications Model LH8110.)

**Figura 20**

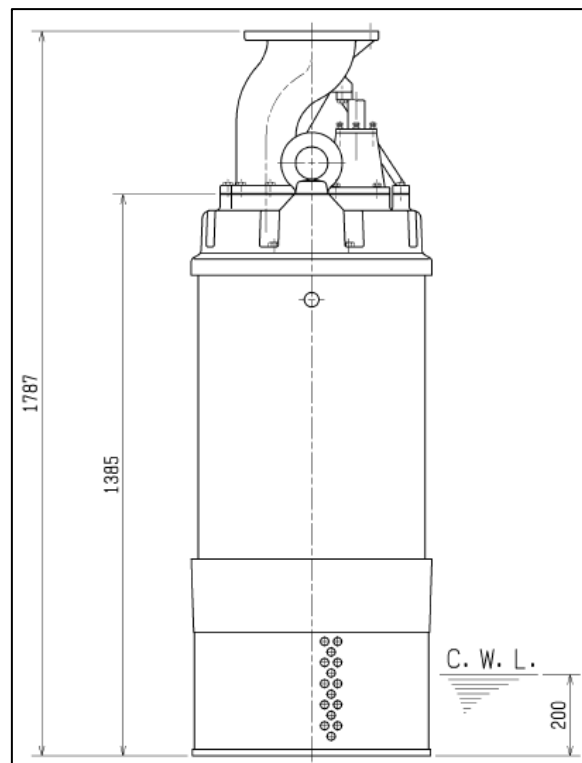
*Vista de planta de la bomba LH8110*



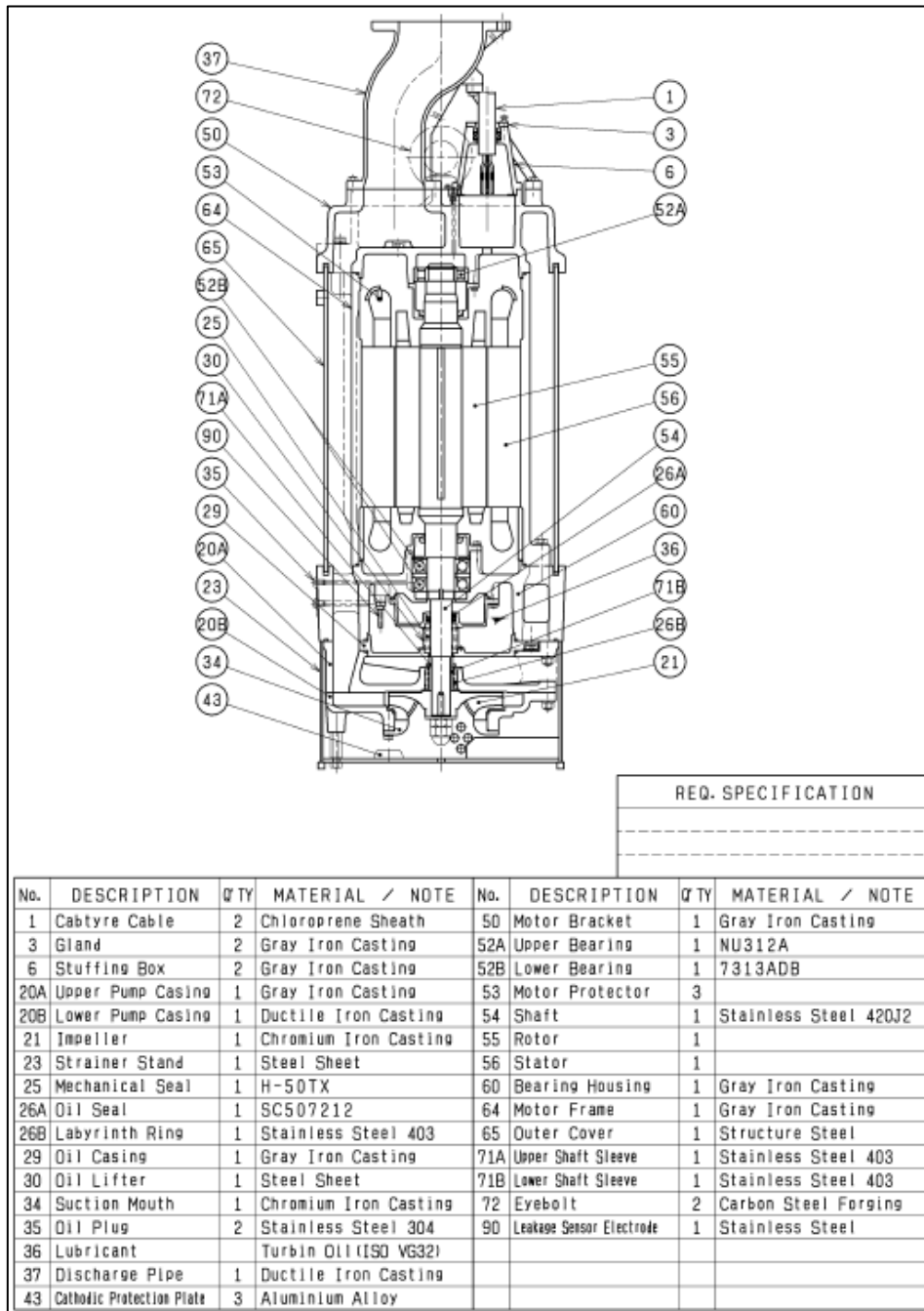
*Nota.* Caja de conexión de la bomba. Tomado de Manual de especificaciones (TSURUMI PUMP).

**Figura 21**

*Vista de lateral de la bomba LH8110*



*Nota.* Medidas en mm. Tomado de Manual de especificaciones (TSURUMI PUMP).

**Figura 22***Vista de corte de la bomba LH8110*

*Nota.* Presenta la ubicación de las piezas que conforman la bomba. Tomado de Manual de especificaciones (TSURUMI PUMP).

En la Tabla 3 se resume los problemas o fallas más relevantes en la bomba sumergible LH8110 Tsurumi, además de exponer sus posibles causas y contramedidas ante esto.

**Tabla 3***Problemas o fallas en la bomba sumergible LH8110 Tsurumi*

<b>Problema o falla</b>	<b>Posible causa</b>	<b>Contramedida</b>
La bomba no arranca	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La energía está apagada.</li> <li>2. El cable Cabtyre está cortado o no está conectado correctamente.</li> <li>3. El Impulsador está obstruido.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Restablezca la energía.</li> <li>2. Repare o reemplace el cable o arregle la conexión.</li> <li>3. Inspeccione la bomba o elimine residuos.</li> </ol>
La bomba se detiene poco después de arrancar (el protector del motor funciona)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El impulsador está obstruido.</li> <li>2. Bajo voltaje.</li> <li>3. Frecuencia de energía incorrecta.</li> <li>4. Operación prolongada con un filtro obstruido.</li> <li>5. Motor defectuoso</li> <li>6. Se descarga arena en exceso.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elimine los residuos.</li> <li>2. Proporcione el voltaje nominal o asegúrese de que la extensión del cable Cabtyre sea del estándar adecuado.</li> <li>3. Verifique la placa de identificación y reemplace la bomba.</li> <li>4. Elimine los residuos del filtro.</li> <li>5. Repare o reemplace el motor.</li> <li>6. Coloque la bomba sobre un bloque u otra base para evitar que la arena sea succionada.</li> </ol>
Poca capacidad de elevación o descarga	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Impulsor desgastado.</li> <li>2. Manguera muy doblada u obstruida.</li> <li>3. Soporte del filtro obstruido o enterrado.</li> <li>4. La dirección del motor está invertida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reemplace.</li> <li>2. Enderece las curvas pronunciadas. Encierre la bomba con una malla para mantener alejada la suciedad.</li> <li>3. Retire la suciedad del soporte del filtro o coloque un bloque debajo de la bomba.</li> <li>4. Intercambie los cables de alimentación.</li> </ol>
La bomba genera ruido o vibración	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La grasa del cojinete se está agotando o es insuficiente.</li> <li>2. Cojinete del motor dañado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Agregue grasa.</li> <li>2. Comuníquese con el distribuidor y reemplace el motor.</li> </ol>

*Nota.* Tomado de Specifications Model LH8110, Tsurumi Pumps (TSURUMI PUMP)

Teniendo un ejemplo práctico en la Unidad Minera Coimolache, en la poza 103 se desea implementar el sistema de Ground Fault/Ground Check en una bomba sumergible, a continuación, en la Figura 23 se tiene la bomba sumergible en la poza 103 y su red de descarga y en la Figura 24 se observa las conexiones hidráulicas y eléctricas que confiere la instalación de un equipo móvil como este.

**Figura 23**

*Red de descarga de bomba a red en la Poza 103 en la Unidad Minera Coimolache*



**Figura 24**

*Conexiones hidráulicas y eléctricas en una red de descarga de bomba a red*



### 2.1.2 Cálculos de protección necesarios para la implementación

En la unidad minera se optó por implementar el sistema de protección Ground Fault/Ground Check de la marca Bender, con la adquisición del módulo de protección RC48C, el transformador de protección W1-S35 y el diodo Zener.

En el área de trabajo en el que se desarrollará esta investigación se optó por implementar kits de protección en las bombas sumergibles, para completar esta instalación se adquirió un cable SHD-GC, de los que se usarán tres conductores para las fases y dos conductores para la continuidad de línea a tierra.

Debido a las características físicas de las pozas en tamaño y volumen de agua con las que trabajan en esta unidad minera, el cable de conexión de la bomba sumergible debe ser mayor a 100 metros de longitud para poder mantenerla conectada cuando esta se desplace de forma vertical en función de la cantidad de agua que contenga la poza.

Por lo que se debe realizar el cálculo de caída de tensión en el cable conductor, con las siguientes fórmulas:

- **Sección del cable conductor:**

$$S = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times L \times I}{\Delta V}$$

Donde:

- $L$  = Longitud del cable.
- $\rho$  = Resistividad del cobre.
- $I$  = Corriente nominal.
- $\Delta V$  = Caída de tensión, la cual es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta V = V \times 2.5\%$$

Teniendo los siguientes datos de la bomba sumergible LH8110 Tsurumi:

- $P = 110kW$
- $V = 440V$
- $I = 185A$

**Distancia entre bomba y el tablero:**

$$L = 100m$$

$$\rho = 0.023 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

**Operando:**

$$I_C = 1.25xI$$

$$I_C = 1.25x185$$

$$I_C = 231.25A$$

$$\Delta V = 440 \times 2.5\%$$

$$\Delta V = 11V$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 0.023 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \times 100m \times 231.25A}{11V}$$

$$S = 83mm^2$$

La sección del cable es de  $83 mm^2$ , se busca en la tabla de fabricante el calibre comercial más aproximado.

Para este caso se usa la tabla de la marca TOXFRE para cable SHD-GC (Ver Figura 25). El valor más próximo a la sección calculada es, 3/0 AWG.

### Figura 25

Parámetros del cable Tipo SHD-GC 2kV de la marca Huandong

Designación	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos del conductor	Designación de cada hilo	Espesor nominal del aislamiento	Designación	Área nominal de la sección transversal	Espesor nominal de la cubierta exterior	Diámetro exterior máximo	Capacidad de conducción de corriente*
AWG/kcmil	mm <sup>2</sup>		AWG	mm	AWG	mm <sup>2</sup>	mm	mm	Ampere
6	13,30	133	27	1,78	10	5,26	3,94	34,4	93
4	21,15	259	28	1,78	8	8,37	3,94	37,3	122
2	33,62	259	26	1,78	6	13,30	4,32	42,4	159
1	42,41	259	25	2,03	5	16,76	4,83	46,9	184
1/0	53,48	259	24	2,03	4	21,15	4,83	49,6	211
2/0	67,43	329	24	2,03	3	26,67	5,21	53,3	243
3/0	85,01	413	24	2,03	2	33,62	5,21	56,8	279
4/0	107,2	532	24	2,03	1	42,41	5,59	61,6	321
250	126,7	608	24	2,41	1/0	53,48	5,59	66,9	355
300	152,0	741	24	2,41	1/0	53,48	5,97	71,5	398
350	177,3	855	24	2,41	2/0	67,43	5,97	74,9	435
500	253,4	1 221	24	2,41	4/0	107,2	6,73	85,1	536

*Nota.* Tomado de Cable para minería tipo SHD-GC. (Huandong, 2024)

### **2.1.3 Esquema de conexión y disposición de componentes de protección**

En la Compañía de Minas Buenaventura se indica en el estándar de seguridad: E-COR-SIB-03.3 *“Alimentación de energía a equipos móviles y movibles”* en el cual se recomienda la implementación del relé de protección Ground Fault/Ground Check, transformador toroidal y diodo Zener. (Ver a detalle Estándar en Anexo A)

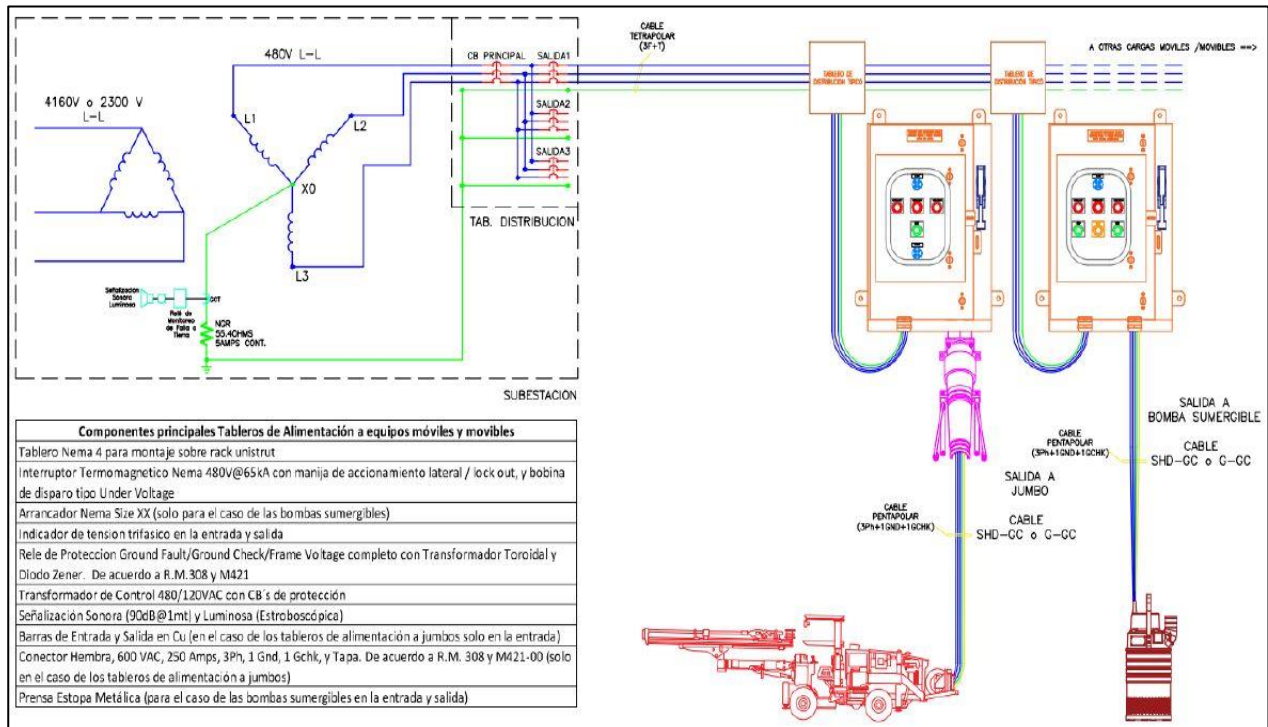
El estándar de seguridad antes mencionado indica que se debe usar un tablero de protección que contenga los siguientes componentes:

- Tablero Nema 4 para montaje sobre rack uninstrut.
- Interruptor Termomagnético Nema 480V@65kVA con manija de accionamiento lateral / lock out, y bobina de disparo tipo Under Voltage.
- Arrancador Nema Size XX para las bombas sumergibles.
- Indicador trifásico en la entrada y salida.
- Relé de protección Ground Fault/Ground Check/Frame Voltage completo con transformador Toroidal y diodo Zener.
- Transformador de control 480/120VAC con CB'S de protección.
- Señalización Sonora (90dB@1mt) y Luminosa (estroboscópica).
- Barras de entrada y salida de Cu.
- Prensa estopa metálica.

A continuación, en la Figura 26 se presenta el diagrama de conexión con los cumplimientos que deberá contar el tablero de alimentación de energía a equipos móviles y movibles con respecto al sistema de protección Ground Fault/Ground Check.

Figura 26

Esquema de conexión indicado por el estándar de Buenaventura

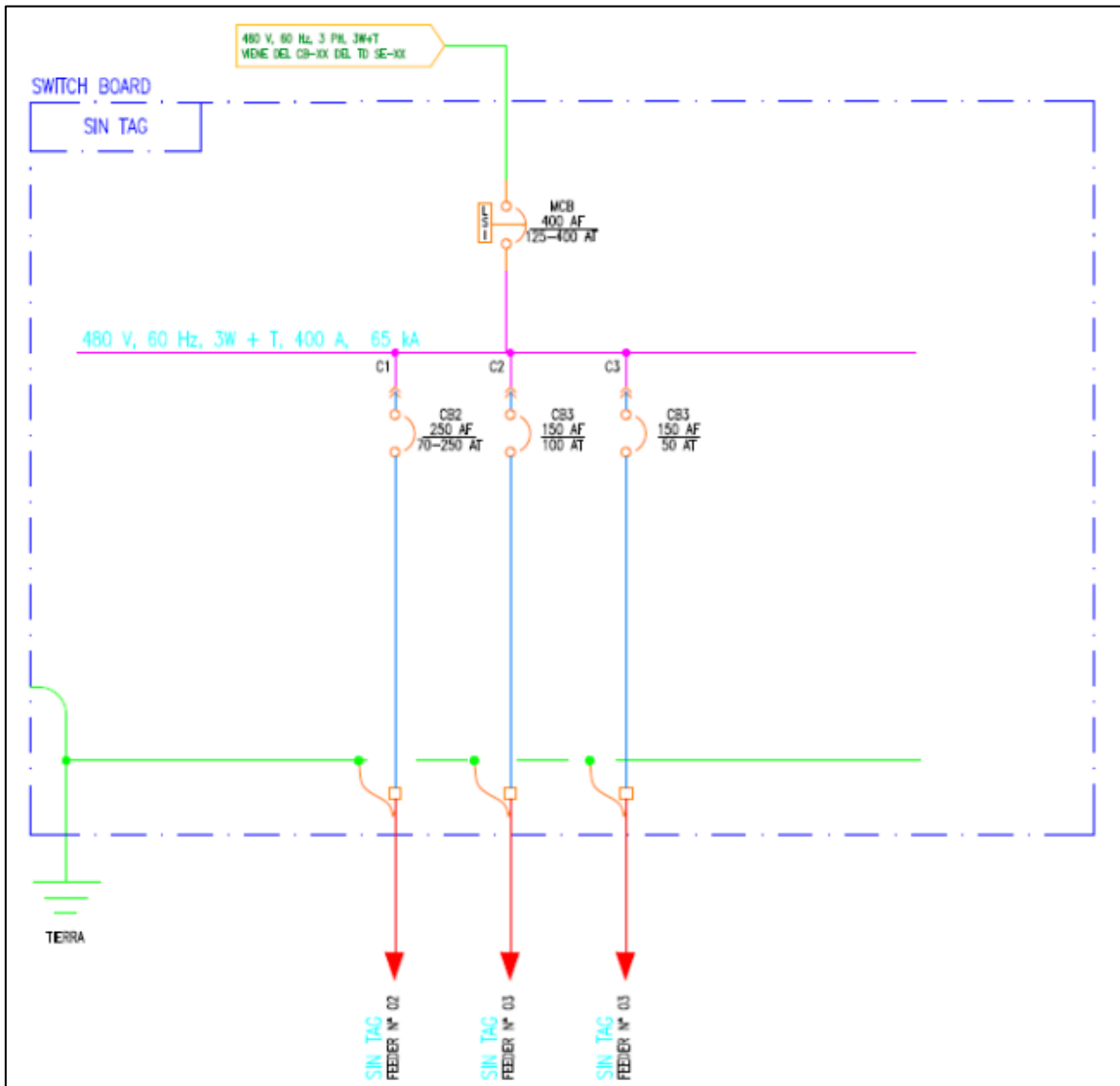


*Nota.* Tomado de Sistema integrado de Buenaventura (Buenaventura, 2024).

Y con respecto a la alimentación de energía desde la subestación al tablero de alimentación por intermedio de tableros de distribución a equipos móviles y movibles se debe de realizar con cables tetrapolares (3 fases + tierra) tal y como se muestra en la Figura 27.

**Figura 27**

*Diagramas unifilar del tablero de distribución que contiene al sistema de protección*



*Nota.* Tomado de Sistema integrado de Buenaventura (Buenaventura, 2024).

El área de mantenimiento de la Unidad Minera Coimolache al no contar con un presupuesto asignado para la compra de los tableros requeridos para la protección Ground Fault/Ground Check; se ha visto en la necesidad de adquirir un kit de protección. El cual está conformado por un relé de protección, transformador de protección toroidal y el diodo Zener.

En las Figura 28 y Figura 29 se muestra monitor de falla a tierra y de continuidad del conductor de tierra – Marca Bender, así como su esquema de protección de la marca Bender.



## 2.2 Procedimiento de instalación del sistema

La bomba sumergible a la que se implementará esta protección trabaja con una tensión de 440V trifásico provenientes del variador de frecuencia que se encuentra aguas arriba, conectándose mediante un cable SHD-GC apantallado. Dentro de este cable se encuentra las tres fases de alimentación, los dos cables de cobre de conexión a tierra y un cable conductor de cobre aislado para la verificación de tierra.

El variador se alimenta directamente del tablero de distribución a una tensión de 480V trifásico, el cual se encuentra en la subestación de la poza cerca de donde esté instalada la bomba sumergible. La subestación transforma 22.9kV proveniente de la red eléctrica de la unidad, a 0.48kV. En el Anexo D, en la Figura 44 se detalla el diagrama unifilar de alimentación eléctrica de la barra de distribución con la que se alimentará al variador, de esta misma forma en la Figura 45 la conexión desde un variador hasta la bomba sumergible.

### 2.2.1 Instrucciones paso a paso para la instalación del sistema Ground Fault/Ground Check

La instalación del sistema de protección dependerá de que si es la instalación del tablero de protección (Figura 30) o del kit de protección (Figura 31). Considerando el tablero completo de protección sólo se necesita conectar el diodo Zener con el cable SHD-GC dentro de la bomba sumergible: en cambio, para la instalación del kit de protección se considerará la instalación de sus componentes básicos para su funcionamiento.

**Figura 30**

*Tablero completo de protección Ground Fault/Ground Check*



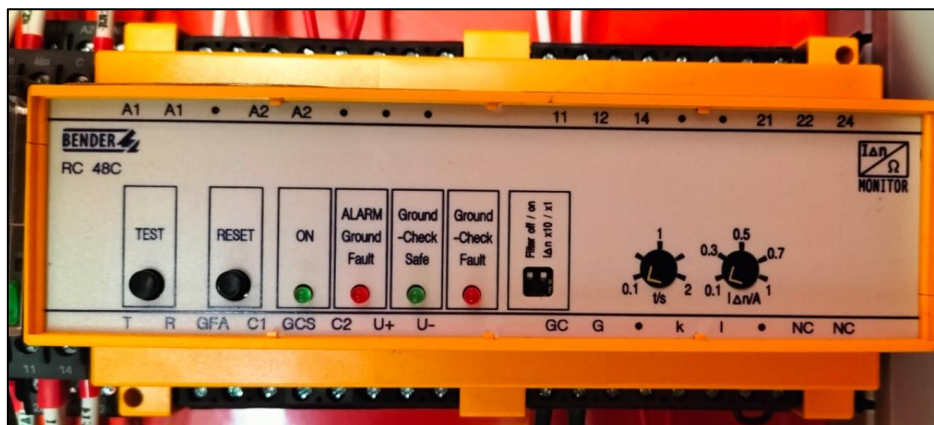
*Nota.* Tomado de Propuesta de suministro.  
(VERNE, 2024)

**Figura 31**  
Kit de protección



Para la instalación del módulo de protección RC48C se debe tener en cuenta que tiene que estar dentro del tablero que alberga al variador de la bomba sumergible, siendo para este caso en el tablero de la Poza 103 de la Unidad Minera Coimolache (Ver Figura 32 y Ficha técnica adjunta en el Anexo C). El módulo está diseñado para ser instalado en cualquier posición dentro del tablero y podría ser fijado al revés sin alterar el funcionamiento de protección. Se monta en un riel din  $\frac{3}{4}$ " , dentro del tablero del variador, en cambio para el conexionado entre el módulo de protección y el transformador toroidal, se utiliza cable unipolar 14 AWG de color amarillo o de color amarillo con verde, y finalmente para la conexión entre el módulo y la bomba sumergible se utiliza el cable de tierra interior.

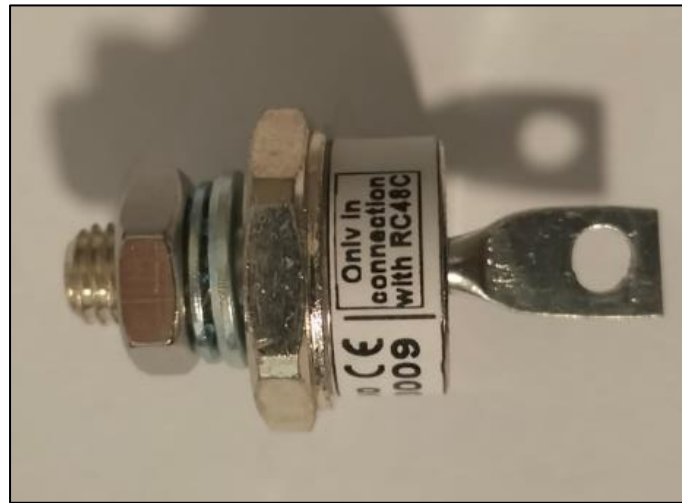
**Figura 32**  
*Módulo RC48C implementado en el tablero de control de la bomba*



Para la instalación del diodo Zener (Figura 33) se debe extraer la bomba sumergible para adaptar la caja de conexionado de tal forma que el diodo Zener pueda ser instalado y conectado con el borne de tierra de la bomba. El diodo debe estar cerca de la carga eléctrica, es decir, cerca de la bomba sumergible, forzando la conexión del diodo dentro de la caja de conexión de la bomba. El diodo se conecta en serie con el cable de tierra y con el cable de retorno al módulo de protección, considerando que la conexión con el borne de aterramiento de la bomba debe ser después del empalme con el diodo Zener.

**Figura 33**

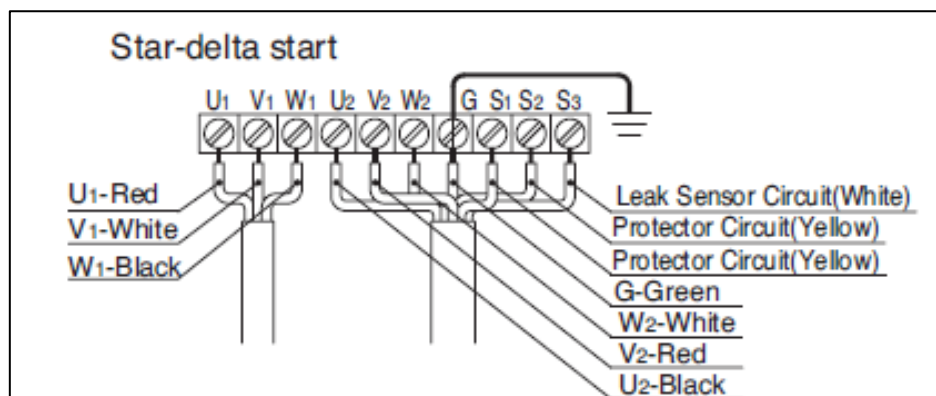
*Diodo Zener del kit de protección*



En la Figura 34 y 35 se presentan los esquemas de conexión eléctrica de una bomba Tsurumi LH-8110 y la conexión del diodo Zener dentro de la bomba sumergible; así mismo, de una forma real se muestra estas conexiones en la Figura 36.

**Figura 34**

*Esquema de conexión eléctrica de una bomba Tsurumi LH-8110*

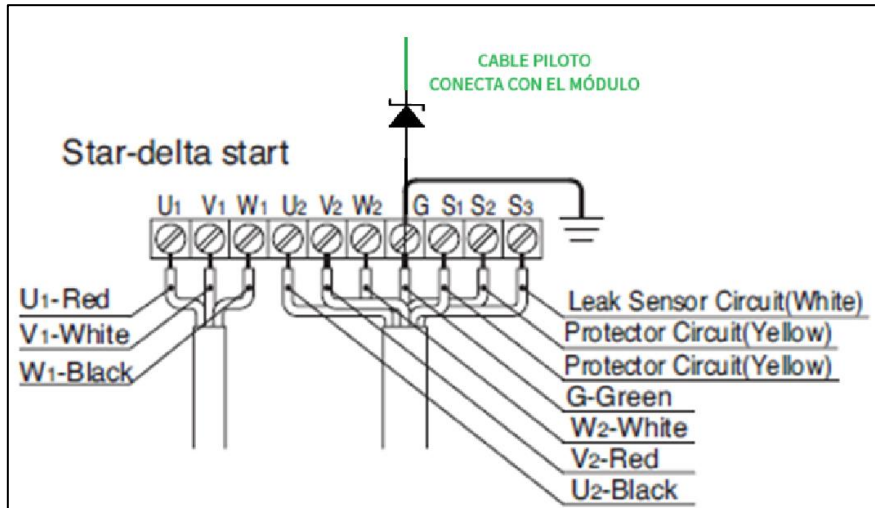


*Nota.* Representa el borne donde se llevará a cabo la conexión el diodo Zener. Tomado de LH/LH-W Series Operation Manual (Tsurumi Pump, 2003)

El diodo se puede conectar antes o después del borne de tierra del motor, siempre que se conecte el ánodo con el cable a tierra procedente del tablero eléctrico y el cátodo con el cable piloto que va al módulo RC48C.

**Figura 35**

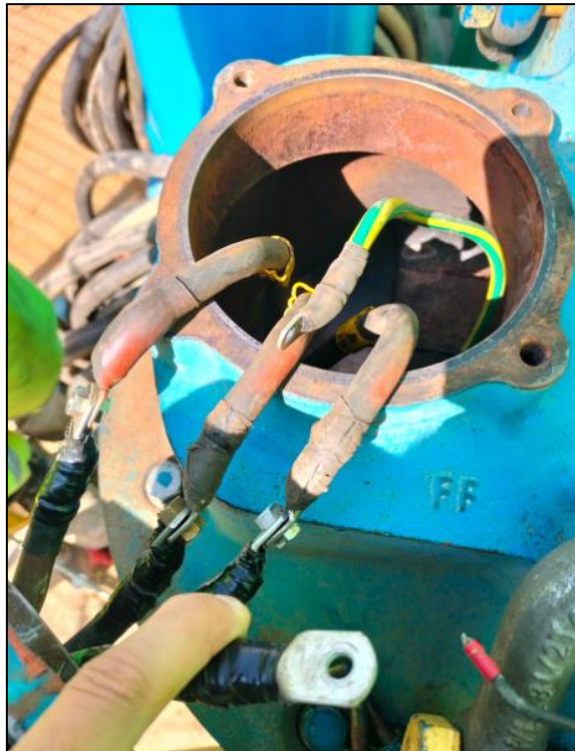
*Esquema de conexión del diodo Zener dentro de la bomba sumergible*



*Nota.* Tomado de LH/LH-W Series Operation Manual (Tsurumi Pump, 2003)

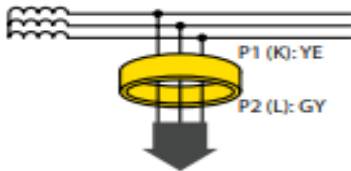
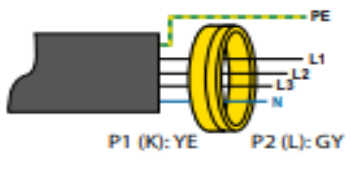
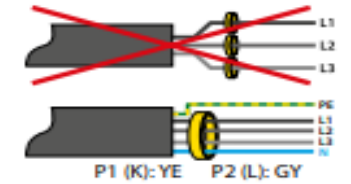
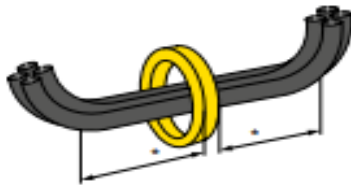
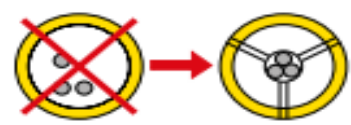
**Figura 36**

*Ejemplo de conexión de la bomba sumergible*



Para la instalación del transformador de protección de corriente Clase 3 se debe tener en cuenta el diámetro de los cables que pasan por el interior del toroide de medición y que sólo pueden pasar las tres fases de energía con el cable neutro (Figura 38). El relé RC48C indica que se pueden utilizar los transformadores W2-S70 de 70 mm de diámetro interno y el transformador CT-M105 de 105 mm de diámetro interno. Para conectarse con el módulo de protección, se utilizan los bornes K e I del módulo RC48C. Como un mayor alcance se adjunta en la Figura 37 algunas recomendaciones para lograr una óptima conexión.

**Figura 37**  
Ejemplo de conexión del transformador

<p>Hay que observar el sentido de paso de los conductores por el toroidal</p>	
<p>El conductor de protección no debe pasar por el toroidal</p>	
<p>Hay que observar que todos los cables conductores de corriente pasen por el toroidal</p>	
<p>Un doblar del conductor solo debe realizarse a una distancia determinada del toroidal. * Distancia hasta el angulo de 90° = 2 x diámetro exterior del toroidal</p>	
<p>Los conductores han de pasar centrados por el toroidal</p>	

*Nota.* Tomado de W0-S20...W5-S210 Toroidales (BENDER, 2024)

**Figura 38**

Transformador toroidal



### 2.2.2 Propuestas de instalación del kit de protección

La instalación del sistema de protección Ground Fault/Ground Check se debe de implementar en todos los equipos móviles de las unidades mineras pertenecientes a la Compañía de Minas Buenaventura.

El corporativo de buenaventura tiene un estándar de seguridad eléctrica E-COR-SIB-03.03 “Alimentación de energía a equipos móviles y movibles” en el que indica los detalles que se deben tener en cuenta al momento de implementar el sistema de seguridad.

- Cable de conexión de la bomba sumergible debe ser SHD-GC (3 fases, 1 tierra y 1 monitoreo de tierra).
- El relé de protección debe abrir circuito cuando la corriente diferencial supere los 30 mA.
- El diodo Zener debe ser de 12V.
- En la salida del arrancador de las bombas sumergibles (variador) se debe utilizar prensa estopas y la conexión directa a las barras de salida.

La implementación del sistema de protección se puede hacer de dos formas:

- Adquiriendo un tablero con el sistema de protección completo. Incluyendo el módulo RC48C, diodo Zener de 12V, el transformador de protección de corriente, alarma sonora, audible, etc.
- Adquiriendo el kit de protección que sólo incluye el módulo RC48C, diodo Zener de 12V y el transformador de protección de corriente.

Teniendo en cuenta que algunas unidades mineras no cuentan con el presupuesto para adquirir el tablero de protección con todo su equipo implementado, se puede realizar

variaciones en la forma de instalar el sistema, para que puedan proteger sus equipos mientras gestionan el presupuesto para la adquisición de este tipo de protección.

### **2.2.2.1 Instalación de tablero de protección Ground Fault/Ground Check.**

El tablero llega listo de fábrica con todos los componentes instalados y conectados, realizando la conexión en serie de este con el tablero del variador. Contiene los siguientes componentes:

- Interruptor ComPact NSX 250A, 35kA – 440Vac, T/M, IEC.
- Mecanismo de acoplamiento y sistema lock out / tag out.
- Relé de monitoreo de conductor a tierra RC48C.
- Diodo Zener – equipo móvil.
- Módulo diferencial VigiPact, 440-550Vac, NSX250.
- Coupler hembra, brida inclinada 20°, 250A.
- Testeador/ Indicador de presencia de tensión ChekVolt.
- Sirena con luz estroboscópica, color rojo, IP65.
- Transformador de tensión 500VA, 460/220Vac.
- Toma visible 16A con enclavamiento mecánico 250Vac, 2F+T.
- Equipamiento de protección y control correspondiente.
- Luces Pilotos para indicación de Estado IEC.
- Botón de Reset IEC.

### **2.2.2.2 Instalación de kit de protección con cable SHD-GC.**

El estándar de seguridad de buenaventura indica que se debe realizar la conexión de las bombas sumergibles mediante un cable SHD-GC. Para poder conectar el sistema con el cable, se debe realizar las siguientes modificaciones:

- Módulo RC48C conectado en el tablero del variador.
- Transformador toroidal de protección conectado en el tablero del variador, dependiendo del calibre del cable se puede utilizar el modelo W2-S70 (70mm de diámetro interno) o CT-M105 (105mm de diámetro interno).
- Habilitar en el interior de la caja de conexión eléctrica de la bomba sumergible, un espacio para la instalación del diodo Zener de 12V.
- Cambiar el cable existente por el nuevo cable SHD-GC.

- Modificar el conector eléctrico de la bomba, debido a que su diseño de fábrica es para un cable tetrapolar cabtyre.

### **2.2.2.3 Instalación de kit de protección agregando un cable extra.**

Cuando las bombas sumergibles ya se encuentran instaladas y en funcionamiento, se propone utilizar la conexión existente y agregar las partes faltantes. Es decir, la bomba existente debe tener un tablero eléctrico en el que se encuentra su variador de frecuencia y un cable tetrapolar por donde se realiza la conexión eléctrica y la protección a tierra. Teniendo en cuenta los materiales existentes se necesitaría:

- Módulo RC48C conectado en el tablero del variador.
- Transformador toroidal de protección, conectado en el tablero del variador.
- Habilitar en el interior de la caja de conexión eléctrica de la bomba sumergible, un espacio para la instalación del diodo Zener de 12V.
- Un cable extra para el retorno de tierra (parte del Ground Check). El cable de tierra debe ser del mismo calibre que el existente.
- Un diodo Zener de 12V para la conexión entre el cable a tierra que viene desde el variador y el cable extra de retorno que se conecta al módulo RC48C.
- Modificar el conector eléctrico de la bomba, debido a que su diseño de fábrica es para un cable tetrapolar cabtyre.

En el Anexo D, Figura 46 se presenta el diagrama unifilar de Poza 103 que muestra el conexionado final de este sistema de protección Ground Fault/Ground Check en su equipo móvil.

### **2.2.3 Mantenimiento preventivo y calibración periódica de los equipos de protección**

Después de la instalación del sistema de protección se debe realizar mantenimientos preventivos junto con el variador y tablero eléctrico en el que fue instalado. Para ello se incluye al sistema Ground Fault/Ground Check en el plan de mantenimiento del variador de velocidad y tablero de control.

Este mantenimiento se basa en la limpieza del tablero usando una pistola de aire, soplear los bornes de contacto del variador, de los interruptores térmicos y de las esquinas del tablero. El objetivo de soplear el interior del tablero es remover el polvo que podría dañar los componentes electrónicos, generar cortocircuitos en las placas, falsos contactos o aislamiento indeseado entre los contactos. Se observa la limpieza de tableros en la Figura 39.

**Figura 39**

Limpieza de tableros durante parada de planta



Otra de las actividades consideradas en el mantenimiento de los equipos, se tiene el ajuste de manera mensual de los pernos para evitar un falso contacto entre las fases de los variadores. Esto debido a que los variadores están sometidos a una constante vibración por el movimiento de las hélices de su sistema de refrigeración, lo que lleva a que se aflojen y que los cables hagan contacto, generando un cortocircuito.

También es importante la limpieza de contactos, usando un líquido anticorrosivo y dieléctrico para evitar el desgaste y corrosión en los terminales. El líquido limpia contacto debe ser dieléctrico y de fácil evaporación, y en el caso que no se cuente con este stock, se puede usar alcohol isopropílico. (Ver Figura 40)

**Figura 40**  
Limpieza de contactores



El mantenimiento que se brinda a los equipos móviles como la bomba sumergible, consta de una prueba de asilamiento en los cables conductores, utilizando un megóhmetro para realizar la prueba con 500 V por 01 minuto. (Figura 41)

**Figura 41**

Prueba de aislamiento de bomba sumergible



La gestión de mantenimiento del sistema de protección en la Unidad Minera Coimolache tiene un programa para la ejecución periódica en el año, esta intervención se realiza en cada parada de planta, donde según la programación se realizan los trabajos de mantenimientos a los diferentes centros de control. En el Anexo E se muestra el plan de mantenimiento anual del Sistema de protección Ground Fault/Ground Check.

## 2.3 Evaluación económica y comparación de opciones de implementación

### 2.3.1 Análisis económico de la implementación de un tablero de protección completo

En el caso de implementarse un sistema de protección completo con alarma sonora, luz estroboscópica, y todos sus complementos; se realiza la compra de un tablero adosable, listo para ser instalado en una pared y conectado con el cable SHD-GC. (Ver Figura 42)

La adquisición de un tablero completo es viable cuando se instala un sistema de bombeo, un tablero de arranque y un cable SHD-GC totalmente nuevos. Esto ya que el presupuesto contempla los costos del cable y la ubicación del nuevo tablero dentro del centro de control de motores correspondiente al sistema de bombeo.

**Figura 42**

Tableros completos para su suministro



*Nota.* Tomado de Propuesta técnica N° VTP-20240827-621 (VERNE, 2024)

Para saber el costo de la compra de un tablero completo listo para instalar, se realizó una cotización con la empresa Bender. En la que detallan los componentes del tablero y del sistema de protección que suministrarían a la unidad minera por la venta de todo el sistema (Ver Figura 43).

**Figura 43**

Tabla de componentes del tablero Ground Fault/Ground Check

Cant	Referencia	Descripción	Marca
<b>Interruptor Automático General</b>			
1	C25F3TM250	Interruptor Automático ComPact NSX250F TMD250 Regulable 175-250 A 3P3D	Schneider Electric
1	9422A1	Manija de operación	Schneider Electric
1	9422RS1	Mecanismo de operación PowerPact L (hasta 600A)	Schneider Electric
1	LV429387	Bobina de Apertura MX para NSX 100/160/250/400/630, 220Vac	Schneider Electric
1	29450	Contacto Auxiliar de estado NSX160/250/400/630	Schneider Electric
<b>Protección Diferencial 30mA</b>			
1	LV429494	Módulo diferencial VigiPact Module NSX250, 440-550Vac, 30mA a 30A. 3 polos	Schneider Electric
<b>Protección Monitoreo de Conductor de Tierra</b>			
1	RC48C-935	Relé de monitor del conductor a tierra, RC48C-935, 60-264 V	Bender
1	E6-50	Dispositivo de terminación para RC48C, E6-50	Bender
1	P9347-1014	Coupler Hembra Mural Brinda Inclinada 250A, 2kV, 3F + T + 1P	Memco
<b>Dispositivo de Seguridad Eléctrica Permanente NFPA 70E</b>			
2	R-3MT-VI-KIT-H	Combo VTS, indicador de tensión intermitente, 40 a 600 VCA, NEMA 4	Grace Technologies
<b>Equipamiento de Mando y Señalización</b>			
1	XB5AVM3	Lámpara verde, led, 230...240Vac, IP66, 22mm	Schneider Electric
1	XB5AVM4	Lámpara roja, led, 230...240Vac, IP66, 22mm	Schneider Electric
1	XB4BA21	Pulsador rasante, negro, 1NA, 22mm IP65	Schneider Electric
1	90563	Baliza LED Rojo 12/24VAC/DC y Sirena de 115dB IP65 (MLINE)	Sirena
1	90369	Base sobreponer de 120/240VAC	Sirena
<b>Equipamiento de Mando y Señalización</b>			
1	462250	Transformador de tensión, 460/220Vac, 500VA	Audax
2	A9F74204	Interruptor automático iC60N, 4A, 220V, 50kA, 2P	Schneider Electric
1	A9R71225	Interruptor Diferenciales Acti 9, Clase AC, 25A, 30mA, 2P	Schneider Electric
1	5602306G	Toma visible 16A, 2P+T, 200 a 250Vac, IP67 con enclavamiento mecánica	Mennekes
2	NSYTRAABV35	Tope para borneras de 2.5mm <sup>2</sup>	Schneider Electric
2	PG-48	Prensaestopa niquelada PG-48	CHS
1	TAD10650450250	Tablero fabricación nacional 600x400x250mm, NEMA 4, RAL 2004, cajuela de protección con visor en puerta, rejilla para baliza, aldaba para candado, pernos tipo mariposa, amarra cables. Embalaje con stretchfilm y caja de madera	Verne Perú

*Nota.* Tomado de Propuesta técnica N° VTP-20240827-621 (VERNE, 2024)

La cotización muestra el valor de la compra de un tablero completo en \$4,500.00 USD, el precio no incluye el suministro del cable SHD-GC. El suministro de cable se debe realizar aparte, costando \$4,461.00. Para la instalación del cable se debe modificar la caja de conexiones de la bomba sumergible, costando \$50.00, llegando a costar la protección de una sola bomba \$9,011.00, tal y como se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4**

Cuadro de gastos de la implementación de un tablero completo

COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO (\$)
Tablero de protección	1	Und	4,500.00
Cable SHD-GC 3 X 6 AWG 2KV	100	m	4,461.00
Modificación de caja de conexión	1	Und	50.00
<b>TOTAL</b>			<b>9,011.00</b>

### 2.3.2 Análisis económico de la implementación de un kit de protección

La implementación del sistema de protección se complica en equipos que ya se encuentran instalados y operativos. Debido a que el centro de control de motores no está diseñado para la implementación de un nuevo tablero que contenga el sistema de protección, el dimensionamiento de longitud de cable no tuvo en cuenta el costo del cable SHD-GC. La bomba sumergible debe ser extraída de la poza y someterse a modificaciones en su caja de conexión. Para el caso de las bombas que ya están instaladas, se utiliza un kit de protección que se instala en el tablero de arranque donde se encuentra el variador de velocidad. La ventaja del kit de protección es que sólo se debe agregar el módulo RC48C y el transformador de corriente. El diodo Zener se instala en la bomba sumergible igual que en el caso de un tablero completo de protección.

En la Tabla 5 se adjunta los precios de un módulo de protección o relé de protección RC48C, un diodo Zener, un transformador toroidal, cien metros de cable y el mecanizado de la caja de conexión de la bomba sumergible.

**Tabla 5**

*Cuadro de gastos de la implementación de un kit de protección*

COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO (\$)
Módulo RC48C	1	Und	925.44
Transformador toroidal	1	m	138.49
Diodo Zener	1	Und	90.90
Cable SHD-GC 3 X 6 AWG 2KV	100	m	4,461.00
Modificación de caja de conexión	1	Und	50.00
<b>TOTAL</b>			<b>5,665.83</b>

Finalmente, en la Tabla 6 se comparan los precios de los dos tipos de instalaciones del sistema de protección Ground Fault y Ground Check, así como la variación entre estos precios.

**Tabla 6**

*Comparación de precios entre el tablero completo y el kit*

TIPO DE PROTECCIÓN	CANTIDAD DE EQUIPOS	UNIDADES	PRECIO (\$)
Tablero completo de protección	1	Und	9,011.00
Kit de protección	1	m	5,665.83
<b>Variación favorable</b>			<b>37.12 %</b>

La comparación de precios indica que la implementación del kit de protección es más barata en un 37.12% en comparación con la compra de un tablero completo de protección.

## Conclusiones

Con la presente tesis se concluye que la implementación de un kit de protección que reduce la cantidad de componentes a comparación de un tablero completo, mantiene la capacidad de protección del sistema Ground Fault/Ground Check y otorga la versatilidad en su instalación. Esto debido a que los tres componentes del kit se pueden instalar en un tablero de variador existente, lo que evita modificaciones en las salas de máquinas eléctricas que no cuenten con el espacio suficiente para agregar un nuevo tablero eléctrico.

Los equipos móviles que carezcan del sistema de protección Ground Fault/Ground Check son sensibles a las fallas eléctricas como las fugas de corriente que pueden generar reacciones en las personas que interactúen con los equipos energizados. Los principales cuadros que pueden ocasionar estos equipos móviles en las personas son las contracciones musculares, asfixia, quemaduras o en el peor de los casos pérdidas humanas.

El sistema de protección Ground Fault/Ground Check se resume en dos protecciones que funcionan conjuntamente. Su implementación se realiza mediante un tablero eléctrico que contiene los componentes del sistema de protección y sistemas de alarmas complementarios. En la presente tesis se propone implementar los componentes básicos para la protección Ground Fault/Ground Check al menor costo y mayor facilidad en su instalación. Los componentes básicos son módulo RC48C, transformador de protección toroidal y el diodo Zener. Se detalla las razones por la cual se propone implementar el kit:

- Económicamente es más accesible la compra del kit de protección en comparación a un tablero de protección completa.
- La instalación del kit de protección es más práctica, ya que la instalación de sus tres componentes de tamaño reducido puede ser acoplados en el interior de un tablero eléctrico existente.
- En el caso de comprar un tablero se debe identificar el espacio para su instalación en el centro de control de motores o sala de máquinas eléctricas; de no contar con dicho espacio, se debe realizar modificaciones estructurales representando un costo extra a su instalación.
- Para ambos casos de implementación se va a necesitar utilizar un cable SHD-GC para conectar la bomba sumergible.

Finalmente, la propuesta del kit de protección en comparación con el tablero de protección completo representa un diferencial de \$3, 345.17, lo que representa un ahorro del 37.12% en referencia al costo del tablero completo. La comparación de los precios incluye la instalación del cable SHD-GC que representa un 50% del costo total de la instalación del kit y tablero de protección.

## Recomendaciones

La implementación del kit de protección debe utilizarse sólo en las bombas que ya encuentran operando. Para los nuevos proyectos de bombeo, se deberá contemplar la compra del tablero de protección completo.

Es recomendable para los casos de alto riesgo, el uso de un cable extra para conectar la tierra con el módulo de protección. Siempre y cuando sea una instalación temporal.

Estandarizar el sistema para todas las bombas sumergibles de las diferentes unidades mineras. Mientras que, Osinerming aún no lo considere como un estándar de seguridad auditable.



## Glosario

**Ground Fault:** Falla a tierra

**Ground Check:** Verificación a tierra.

**Monitor RC48C:** Hace referencia al módulo de protección eléctrico que integra el sistema de protección Ground Fault/Ground Check.

**Transformador de protección toroidal:** Es un dispositivo de protección que reduce la corriente nominal a una corriente equivalente para poder ser leída por un módulo. Este tiene la forma de un toroide.

**Diodo Zener:** Es un diodo con la particularidad de dejar pasar un voltaje determinado.

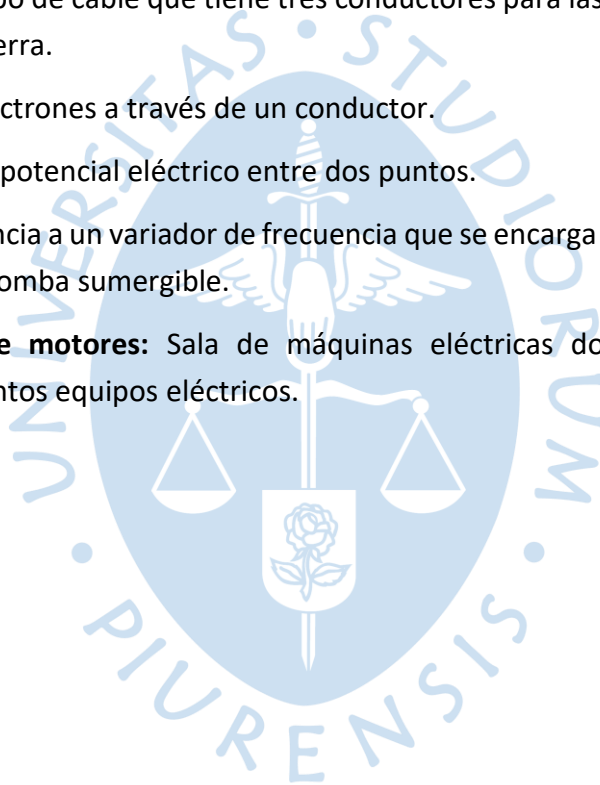
**Cable SHD-GC:** Es el tipo de cable que tiene tres conductores para las fases y dos conductores para la protección a tierra.

**Corriente:** Flujo de electrones a través de un conductor.

**Voltaje:** Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

**Variador:** Hace referencia a un variador de frecuencia que se encarga de controlar la velocidad de los motores de la bomba sumergible.

**Centro de control de motores:** Sala de máquinas eléctricas donde se encuentran los variadores de los distintos equipos eléctricos.



## Referencias

- Alvarado, M. (11 de noviembre de 2020). *ITO*. Obtenido de Alquiler de bomba sumergible para lodos - Goodwin 100 anze: <https://itoss.pe/tag/bombas-sumergibles/>
- Antonio, E. Q. (2023). *Implementación de monitores de falla para mejorar la protección en los circuitos de baja tensión de las cargas móviles y movibles en la unidad minera Chungar - Volcan*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Bender. (2013). *Seguridad Eléctrica en Minería y Aplicaciones Mineras*. Obtenido de Bender: [https://www.bender.de/fileadmin/content/Products/b/es/Mining\\_brochure\\_LA\\_es.pdf](https://www.bender.de/fileadmin/content/Products/b/es/Mining_brochure_LA_es.pdf)
- Bender. (2020). *Módulo RC48C [Fotografía]*. Obtenido de RC48C Manual: [https://www.bender.de/fileadmin/user\\_upload/RC48C\\_Manual\\_English\\_and\\_Spanish\\_2.25.20.pdf](https://www.bender.de/fileadmin/user_upload/RC48C_Manual_English_and_Spanish_2.25.20.pdf)
- BENDER. (2024). *Bender*. Obtenido de W0-S20...W5-S210: [https://www.bender-latinamerica.com/fileadmin/content/Products/d/es/W%280-5%29-S-W10\\_D00142-D00143\\_D\\_XXES.pdf](https://www.bender-latinamerica.com/fileadmin/content/Products/d/es/W%280-5%29-S-W10_D00142-D00143_D_XXES.pdf)
- Buenaventura. (2024). *Sistema integrado Buenaventura*. Obtenido de Alimentación de energía a equipos móviles y movibles E-COR-SIB-03.03: [https://www.buenaventura.com/assets/uploads/e\\_cor\\_sib/2024/E-COR-SIB-03.03%20Alimentaci%C3%B3n%20de%20Energ%C3%ADa%20a%20equipos%20m%C3%B3viles%20y%20movibles\\_V2.pdf](https://www.buenaventura.com/assets/uploads/e_cor_sib/2024/E-COR-SIB-03.03%20Alimentaci%C3%B3n%20de%20Energ%C3%ADa%20a%20equipos%20m%C3%B3viles%20y%20movibles_V2.pdf)
- Cruz, L. A. (2016). *Construcción de monitoreo de falla a tierra para sistemas de C.A*. Universidad autónoma del estado de México.
- Dynapr. (16 de junio de 2024). *Pump selection and system design*. Obtenido de Dynapr: <https://dynaproco.com/technical-support-resources/bomba-sumergible-todo-lo-que-debes-saber-sobre-este-dispositivo>
- Electrotec. (2024). *Electrotec*. Obtenido de Qué es y para que sirve un relé térmico: <https://electrotec.pe/blog/ReleTermicoPartesyFuncionamiento>
- Endesa. (2023). *Endesa*. Obtenido de Protege tu instalación eléctrica con el relé térmico: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/proteger-instalacion-electrica-rele-termico#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20funciona%20un%20rel%C3%A9%20t%C3%A9rmico,temperatura%2C%20ya%20que%20reacciona%20dilat%C3%A1ndose>.
- FCM. (17 de septiembre de 2021). *Interruptores termomagnéticos: Funcionamiento y su implementación en instalaciones residenciales*. Obtenido de FCM: <https://www.fcmsolutionsperu.com/blogs/noticias/interruptores-termomagneticos-funcionamiento-y-su-implementacion-en-instalaciones-residenciales#:~:text=Sobrecarga,-Como%20se%20menciona&text=El%20interruptor%20tiene%20un%20mecanismo,se%20dispara%20y%20%2F%>
- Huandong. (2024). *Huandong*. Obtenido de Cable para minería tipo SHD-GC: <https://huandongcables.es/cable-de-goma/mineria-cable/shd-gc->

cable/?campaignid=2145553741&adgroupid=166165823004&feeditemid=&targetid=kwd-928006015626&device=c&creative=705554305354&keyword=shd%20gc%20cable&matchtype=p&gad\_source=1&gclid=CjwKCAiAmMC6BhA6E

López, T. M. (2019). *Fundamentos de Electrónica*. Universidad Evangélica de el Salvador.

Ministerio de energía y minas . (2001). *Uso de la electricidad en Minas*. Lima: Ministerio de energía y minas .

Potencia hp. (27 de noviembre de 2023). Diodo Zener - Funcionamiento [video]. Youtube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=wnFuWjuLQKU>

Pozueta, M. A. (2008). *Transformadores*. Universidad de Cantabria.

Pozueta, M. A. (2018). *Máquinas Eléctricas II*. Universidad de Cantabria.

Promelsa. (2024). *Promelsa*. Obtenido de Limitador de sobretensión : <https://www.promelsa.com.pe/1030252-limitador-de-sobretensiones-t2-3p-n-40ka-uc-440v-230v.html>

Promelsa. (2024). *Promelsa*. Obtenido de ¿Conoces la importancia de los protectores contra sobretensiones en instalaciones?: <https://www.promelsa.com.pe/blog/post/celdas-de-media-tension-con-aislamiento-mixto1.html>


Tsurumi Pump. (2003). *LH/LH-W Submersible High-head/Ectra high-head Dewatering Pumps*. Tsurumi Pumps.

TSURUMI PUMP. (s.f.). *Spefifications Model LH8110*. TSURUMI.

TSURUMI PUMP. (s.f.). *Troubleshooting*.

VERNE. (2024). *Suministro de tablero de alimentación para Jumbo con protección ground fault y ground chech - RC48C y Vigipact*. Lima: Verne.

## Anexo A. Especificación Estándar de Buenaventura E-COR-SIB-03.03 "Alimentación de Energía a Equipos Móviles y Movibles"

	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> <b>ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES</b> <b>E-COR-SIB-03.03</b>	<b>CORPORATIVO</b>	
		Versión 03	Pág. 1 de 8

### 1.0 OBJETIVO

Establecer los controles operativos para minimizar los riesgos relacionados a Seguridad y Salud en el Trabajo, asociados a la alimentación de energía a equipos móviles y movibles.

### 2.0 ALCANCE

Este estándar es aplicable en todas las actividades, procesos e instalaciones administradas por Buenaventura, así como a todas sus Empresas Contratistas y Visitantes.

### 3.0 DEFINICIONES

#### Acoplador de cables (cable coupler o conector)

- ✦ Dispositivo hembra-macho en el cual se conecta el extremo de un cable de suministro con un equipo u otro cable.

#### Cable portátil de potencia (portable power cable, WCS8)

- ✦ Cable extra flexible, usado para conectar equipos móviles o estacionarios en mina a una fuente de energía eléctrica cuando no sea practicable una instalación permanente.

#### Conductor de puesta a tierra (grounding conductor)

- ✦ Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de una instalación, al electrodo o electrodos de tierra de la instalación.

#### Conexión equipotencial (bonding)

- ✦ Unión permanente de partes metálicas para formar un paso o una trayectoria eléctricamente conductiva, que asegure la continuidad eléctrica y la capacidad para conducir cualquier corriente que le sea impuesta.

#### Comité Central del Riesgo Crítico 7

- ✦ Comité Central compuesto de los siguientes participantes:
  - o Líder del Riesgo Crítico 7 BVN (Nombrado por el vicepresidente de Operaciones)
  - o Representante del Área de Seguridad BVN (Nombrado por su Gerencia)
  - o Representante del Área de Logística BVN (Nombrado por su Gerencia)

#### Dispositivo de puesta a tierra del neutro (NGR / neutral grounding device)

- ✦ Impedancia usada para conectar a tierra el neutro de un sistema eléctrico, con el propósito de controlar la corriente de tierra y la tensión a tierra.

#### Equipo eléctrico movable

- ✦ Equipo alimentado por un cable de arrastre y que está diseñado para ser movido solo cuando está desenergizado. Por ejemplo: jumbo electrohidráulico, bomba sumergible.

#### Equipo eléctrico móvil


- ✦ Equipo diseñado para desplazarse y/o operar con energía eléctrica. Por ejemplo: scooptram eléctrico.

#### Ground Fault

- ✦ Sistema de protección de falla a tierra.

#### Hoja de Datos Técnicos

- ✦ Hoja de Datos con las características técnicas y normativas requeridas en la operación del equipamiento a solicitar, estas Hojas de Datos deben ser autorizadas por el Comité Central del RC7.

	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES E-COR-SIB-03.03	CORPORATIVO	
		Versión 03	Pág. 2 de 8

**Monitoreo del conductor de tierra (ground check / ground conductor monitoring)**

- ✦ Acción de verificar la continuidad del conductor de tierra de los cables de alimentación.

**NEMA (National Electrical Manufacturers Association)**

- ✦ La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA), es la asociación establece las normas técnicas de construcción para Estados Unidos y Canadá.

**Personal Técnico:**

- **Ayudante de Electricista**  
Trabajador con 600 horas mínimas de entrenamiento teórico-práctico en un centro de formación técnica o experiencia mínima 3 años. Conoce los estándares y procedimientos para instalaciones eléctricas. Esta bajo el mando del Técnico Electricista.
- **Trabajador Calificado**  
Técnico electricista con 3 años de estudios técnicos en un instituto acreditado por MINEDU/SINEACE y con 3 años de experiencia en la ejecución de trabajos eléctricos y que conoce los estándares y procedimientos implicados en la operación que será realizada y que puede juzgar los riesgos implicados y tomar las medidas del caso para eliminarlos.
- **Electricista Competente**  
Es un trabajador calificado y quien, adicionalmente, es responsable de todo el trabajo o actividades relacionadas a procedimientos seguros con equipos especiales y a la medida, y que tiene conocimiento detallado acerca de la exposición a los peligros eléctricos, los apropiados controles para reducir los riesgos asociados a esos peligros, y la implementación de dichos métodos.

**Pruebas FAT**

- ✦ Son las pruebas de aceptación en fábrica, o 'Factory Acceptance Test' -de ahí sus siglas- son aquellas que inspeccionan un producto o una solución en las instalaciones del proveedor antes de ser enviado al cliente.

**Pruebas SAT**

- ✦ Son las pruebas de aceptación en terreno, o "Site Acceptance Test" -de ahí sus siglas-, lo que se entiende como los exámenes que se realizan en la ubicación final, en las instalaciones del cliente.

**Verificador de ausencia de tensión**

- ✦ Es un probador montado permanentemente en la puerta de los tableros utilizado para verificar que un circuito está desenergizado antes de abrir este tablero. Verifica la ausencia de tensión en fase a fase y fase a tierra, comprueba la tensión de CA y CC. Esta normado de acuerdo a NFPA 70E 120.5, Listado en UL 1436 y con todas las funciones de seguridad clasificadas en SIL 3.

**4.0 RESPONSABLES / RESPONSABILIDADES**

**Trabajadores**

- ✦ Cumplir con los controles operativos del presente documento.
- ✦ Aplicar el sistema de bloqueo/rotulado.
- ✦ Reportar a su Supervisor cualquier desperfecto o anomalía.
- ✦ Paralizar las actividades en caso de riesgo grave e inminente.

**Línea de Supervisión (Supervisor, Ingeniero de Guardia, jefe de Turno, Superintendente)**

- ✦ Demostrar Liderazgo mediante el cumplimiento de los controles operativos del presente documento.
- ✦ Asegurar el cumplimiento de los controles operativos del presente documento por parte de los trabajadores a su cargo.

	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> <b>ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES</b> <b>E-COR-SIB-03.03</b>	<b>CORPORATIVO</b>	
		Versión 03	Pág. 3 de 8

#### Lider RC7 Energía Eléctrica

- ✦ Liderar a nivel de BVN el riesgo crítico RC7 Energía Eléctrica.
- ✦ Liderar las reuniones del comité correspondiente a este estándar
- ✦ Hacer una revisión anual del presente estándar o cuando se produzca un evento de Alto Potencial.

#### Superintendente de Seguridad / Ingeniero o su equivalente en la empresa contratista

- ✦ Asesorar en la aplicación de los controles operativos del presente documento.
- ✦ Auditar aleatoriamente el cumplimiento de los controles operativos del presente documento.

#### Superintendente de Mantenimiento / Jefe de Mantenimiento Eléctrico / Ingeniero Electricista

- ✦ Autorizará el PETAR para trabajos con Energía Eléctrica.
- ✦ Autorizará el energizado/desenergizado de sistemas y subsistemas.
- ✦ Contará con planos Como Construido (As-Built) de las plantas de generación de energía, CCMs, subestaciones, tableros, diagramas unifilares, instalaciones a tierra.

#### Gerente de Unidad

- ✦ Proporcionar los recursos para la aplicación de los controles operativos del presente documento.
- ✦ Designar al Líder del Riesgo Crítico 7 Energía Eléctrica de su unidad.

#### Logística

- ✦ Adquisición de equipos según las Hojas de Datos Técnicos validados por el comité central del Riesgo Crítico 7 Energía Eléctrica.
- ✦ Coordinación de las pruebas FAT y SAT entre el proveedor y el usuario final.

## 5.0 ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

### 5.1 Generales

- ✦ El presente documento establece los controles operativos mínimos, pudiendo las empresas contratistas implementar controles que mejoren los ya establecidos y que sean de aplicación a su propio personal.
- ✦ Solo para fines de simplificación del texto se han redactado los controles operativos en género masculino, sin embargo, dichos controles son aplicables tanto al género masculino como femenino.
- ✦ La Línea de Supervisión debe asegurar contar con Técnicos Electricistas y Ayudantes de Electricistas con las competencias establecidas en el presente documento.
- ✦ La Línea de Supervisión debe asegurar que las instalaciones eléctricas cumplan con los siguientes lineamientos:
  - La alimentación de energía a equipos móviles y movibles debe realizarse desde una subestación que cuente con el neutro del secundario en el transformador aterrado por medio de una resistencia (NGR), que limite la corriente de falla a tierra a un máximo de 5 amperios.
  - La alimentación de energía desde la subestación al Tablero de Alimentación por intermedio de tableros de distribución (según Anexo 2) a equipos móviles y movibles se realice con cables tetrapolares (3 fases + tierra).
  - El Tablero de Alimentación de energía a equipos móviles y movibles deberá cumplir con lo indicado en el Anexo 1.
  - El cable de alimentación a los equipos móviles y movibles debe cumplir con los requerimientos de la norma NEMA WC58 (Cable portátil de potencia con 3 fases + Tierra + Ground Check).
  - Los tableros de alimentación a equipos de perforación y scooptram eléctricos, se requiere el uso de conectores pentapolares (3 Fases + 1 Tierra + 1 Monitoreo de tierra).
  - En los arrancadores para bombas sumergibles (3 Fases + 1 Tierra + 1 Monitoreo de tierra), se usará en la salida "Prensaestopas" y las conexiones directas a barras de salida.

	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> <b>ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES</b> <b>E-COR-SIB-03.03</b>	CORPORATIVO	
		Versión 03	Pág. 4 de 8

- **Los tableros y arrancadores deben contar con un dispositivo con pantalla digital de monitoreo de corriente residual.**
- Mantenerse la conexión equipotencial y la puesta a tierra de equipos, canalizaciones, bandejas para cables y envolventes, a fin de asegurar la continuidad eléctrica.
- La alimentación eléctrica a un equipo eléctrico móvil tendrá una protección de falla a tierra (Ground Fault) y un sistema de monitoreo del conductor de tierra (Ground Check).

## 5.2 Componentes Principales de Tableros de Alimentación a Equipos Móviles y Movibles.

- ✦ La Línea de Supervisión debe asegurar las siguientes características de los componentes:
  - Tablero Nema 4 para montaje sobre rack unistrut.
  - Interruptor termomagnético Nema 480V@65kA con manija de accionamiento lateral / lock out, y bobina de disparo tipo Under Voltage.
  - Arrancador Nema Size XX (solo para el caso de las bombas sumergibles).
  - Verificador de ausencia de tensión en la entrada y salida.
  - Relé de protección Ground Fault/Ground Check completo con Transformador Toroidal y Diodo Zener. De acuerdo con la R.M.308 y M421 **(El disparo debe estar regulado desde 30 mA hasta 100 mA y tiempo desde instantáneo hasta 20ms). Se considera los relés por función separados o en uno compacto.**
  - Transformador de Control 480/120VAC con CB's de protección.
  - Señalización Sonora (90dB@1mt) y Luminosa (Estroboscópica).
  - Barras de Entrada y Salida en Cu (en el caso de los tableros de alimentación a jumbos solo en la entrada).
  - Conector Hembra, 600 VAC, 250 o 400 Amps, 3Ph, 1 Ground Fault, 1 Ground Check, y Tapa de acuerdo con R.M. 308 y M421-00 (solo en el caso de los tableros de alimentación a jumbos)
  - Prensa Estopa Metálica (para el caso de las bombas sumergibles en la entrada y salida).
- ✦ **De acuerdo con una programación mensual o cuando sean reubicados los Tableros de Alimentación a Equipos Móviles y Movibles se deben efectuar pruebas en los Sistemas de Protección Ground Fault y Ground Check como indica el manual del fabricante del Relé de Protección, estas pruebas deben quedar registradas.**
- ✦ **Los Sistemas de Protección Ground Fault y Ground Check se debe probar en cuanto a su rendimiento cuando se instale por primera vez en el sitio. Estas pruebas deben realizarse por el Ingeniero Electricista utilizando un proceso de prueba de inyección de corriente primaria de acuerdo a un procedimiento y según las instrucciones del fabricante y deben quedar registradas.**
- ✦ Los equipamientos eléctricos deben ser especificados de acuerdo con la "Hoja de Datos Técnicos" aprobada por el Comité Central del Riesgo Crítico 7.

## 5.3 Monitoreo del conductor de tierra

- ✦ La Línea de Supervisión debe asegurar las siguientes características del conductor de tierra:
  - El monitoreo del conductor de tierra requiere que la fuente sea desenergizada por un circuito a prueba de fallas en el caso de alguna de las siguientes situaciones:
    - El conductor de chequeo de tierra interrumpa el circuito
    - El retorno de tierra interrumpa el circuito.
    - El conductor de chequeo de tierra se cortocircuite a tierra.
  - Un sistema de monitoreo del conductor de tierra tendrá una tensión a circuito abierto menor que 100 V e indicará permanentemente la continuidad del circuito de tierra.

	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> <b>ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES</b> <b>E-COR-SIB-03.03</b>	<b>CORPORATIVO</b>	
		Versión 03	Pág. 5 de 8

#### 5.4 Empalmes Permanentes en Cables de Arrastre

- ✦ La Línea de Supervisión debe asegurar que los empalmes cumplan con las siguiente:
  - Mantener características mecánicas y eléctricas equivalentes al del cable original.
  - Cumplan con las pruebas de tensión de aislamiento iguales al nominal del cable.
- ✦ La Línea de Supervisión debe mantener un registro de reparaciones y pruebas de los cables.

#### 6.0 REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- ✦ P-COR-SIB-05.03-F01 Formato de Inspección

#### 7.0 REVISIÓN

- ✦ El responsable de la revisión y actualización del presente documento es el Líder Corporativo del RC7 de acuerdo con lo establecido en el procedimiento P-COR-SIB-04.08 Gestión de Documentos.

#### 8.0 REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

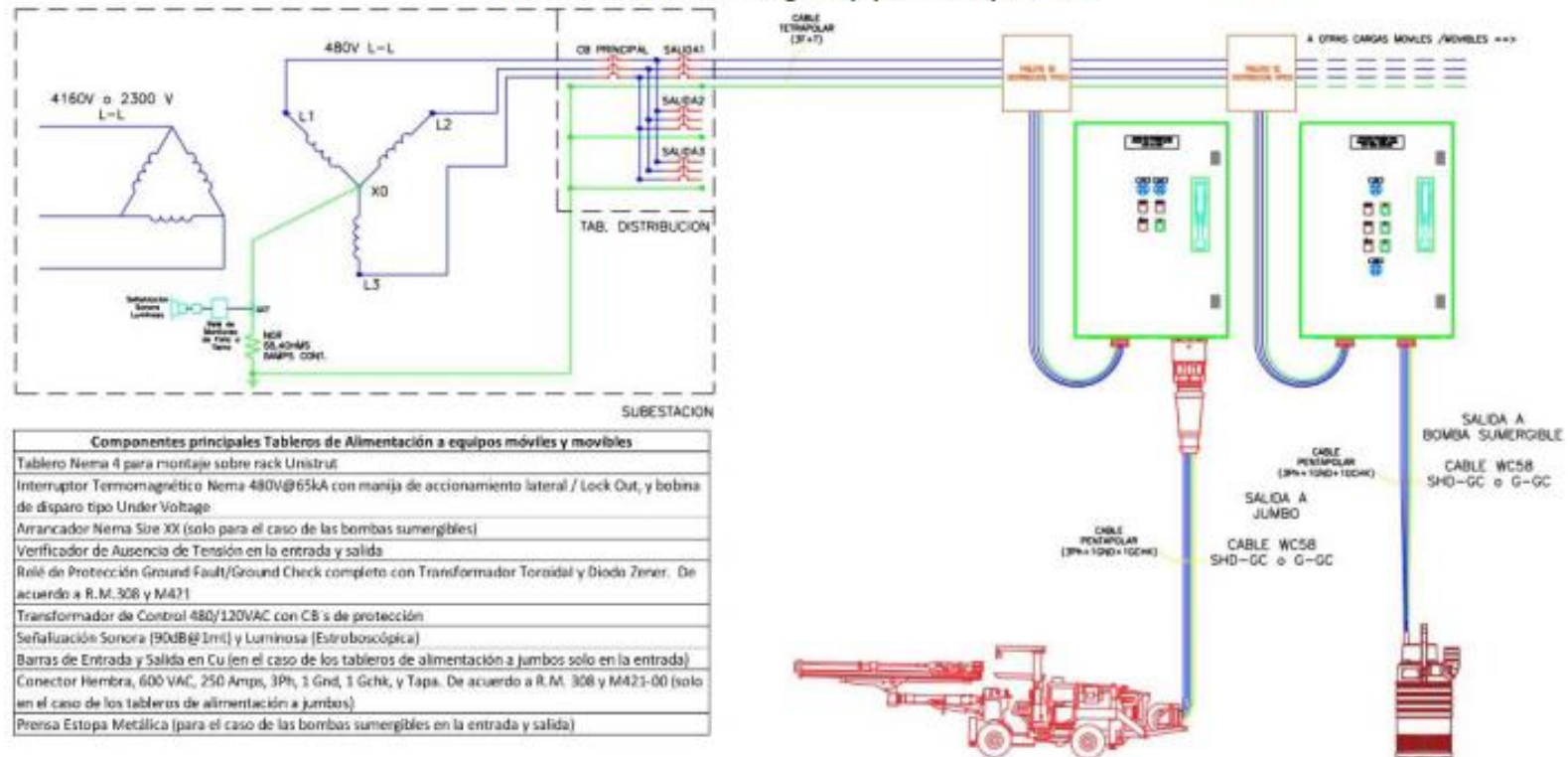
- ✦ R.M. 308-2001-EM/VME "Uso de Electricidad en Minas".
- ✦ D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM "Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería" Título V: Capítulo I, (Art. 360 al 366).
- ✦ E-COR-SIB-03.01 Aislamiento y Bloqueo de Energía.
- ✦ E-COR-SIB-03.02 Energía Eléctrica.
- ✦ Código Nacional de Electricidad – Utilización 2006
- ✦ NFPA 70E Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo

#### 9.0 ANEXOS

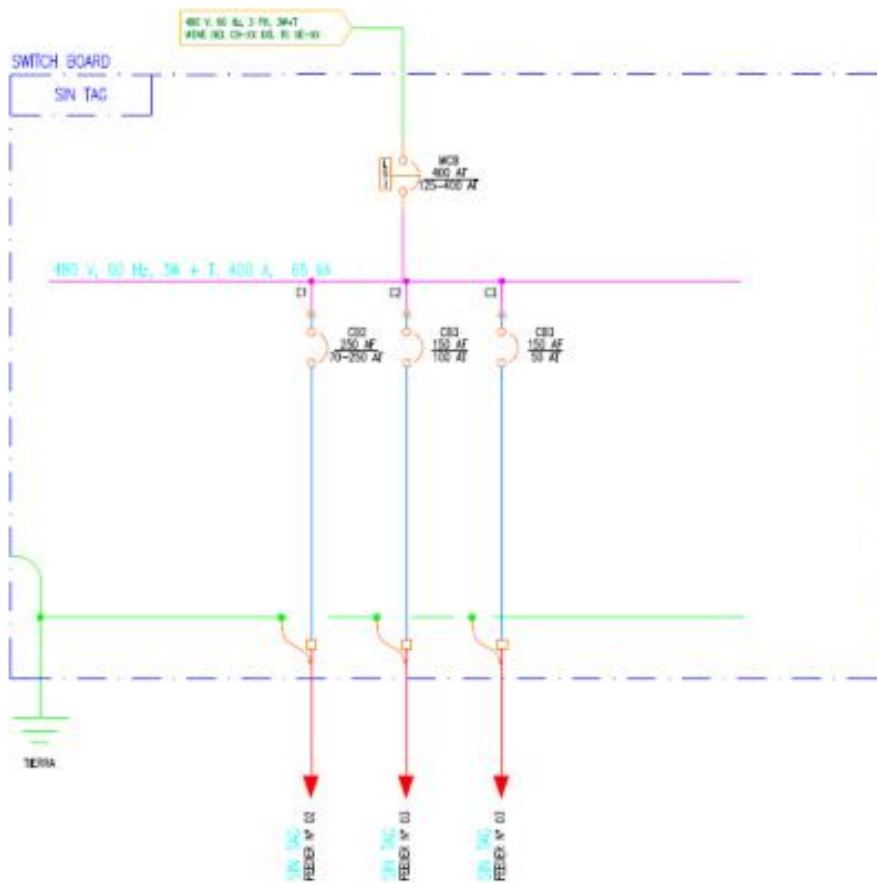
- ✦ Anexo 1. Distribución de Energía a Equipos Móviles y Movibles.
- ✦ Anexo 2. Tableros de Distribución (Diagrama Unifilar).
- ✦ Anexo 3. Hoja de Datos Técnicos.


PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 <b>JHON ORTEGA H.</b> SUPERINTENDENTE DE SEGURIDAD	 <b>DAVID CASTAÑEDA R.</b> DIRECTOR DE MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN	 <b>TOMÁS CHAPARRO D.</b> GERENTE DE SEGURIDAD	 <b>JUAN CARLOS ORTIZ Z.</b> VICEPRESIDENTE DE OPERACIONES
FECHA: 04 de noviembre 2024	FECHA: 04 de noviembre 2024	FECHA: 05 de noviembre 2024	FECHA: 5 de noviembre 2024

	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> <b>ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES</b> <b>E-COR-SIB-03.03</b>	<b>CORPORATIVO</b>	
		Versión 03	Pág. 6 de 8


**ANEXO 1 - Distribución de Energía a Equipos Móviles y Movable.**


	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES E-COR-SIB-03.03	CORPORATIVO	
		Versión 03	Pág. 7 de 8

**ANEXO 2 - Tablero de Distribución (Diagrama Unifilar Típico).**


	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> <b>ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A EQUIPOS MÓVILES Y MOVIBLES</b> <b>E-COR-SIB-03.03</b>	<b>CORPORATIVO</b>	
		Versión 03	Pág. 8 de 8


**ANEXO 3 – Hoja de Datos Tecnicos**

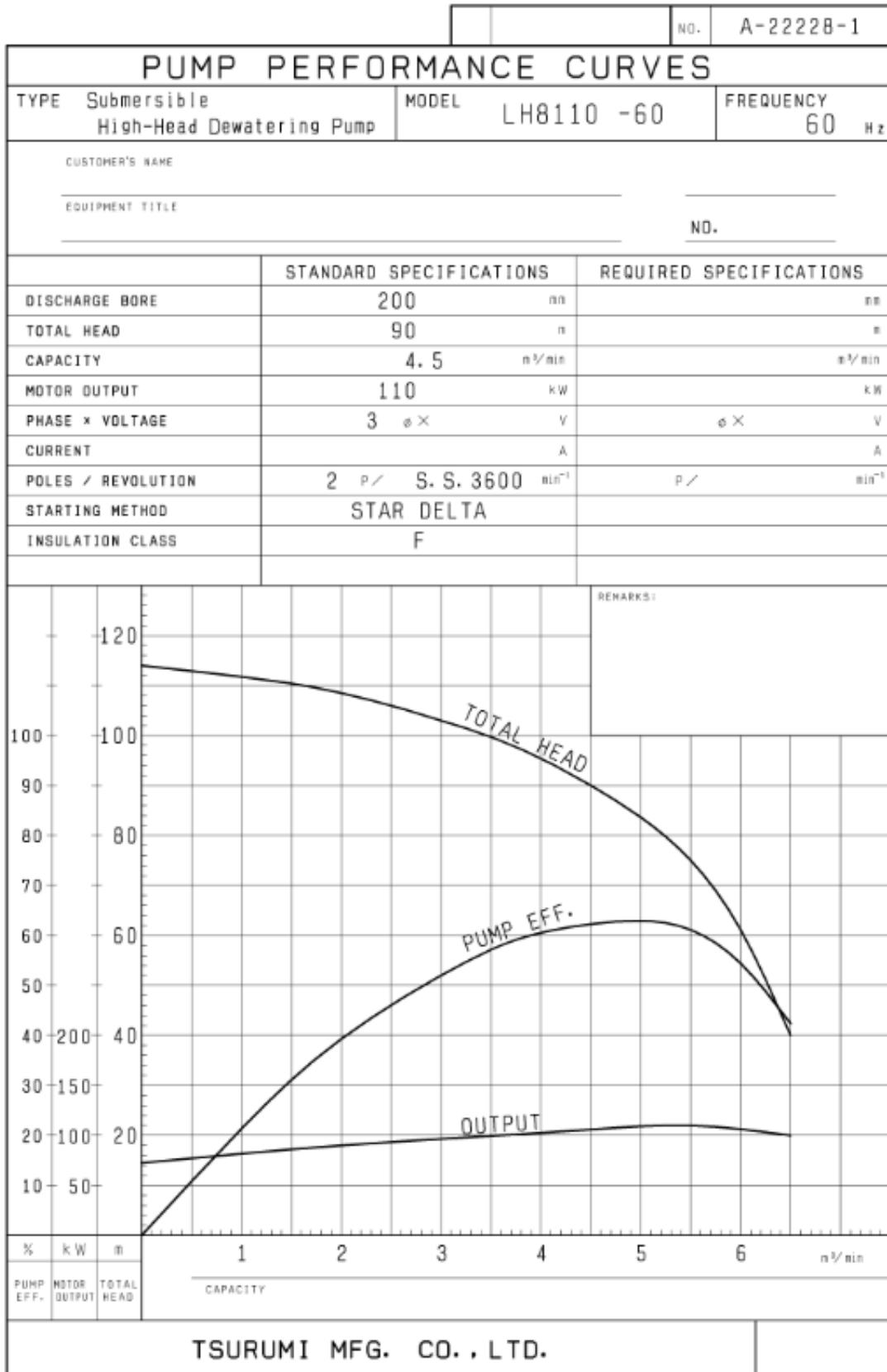
	Hoja de Datos Técnicos E-COR-SIB-03.03-P01		Código:	
			Revisión:	
			Área:	
			Página:	1 de 1
<b>Equipo:</b>				
<b>Ubicación:</b>				
<b>Revisión:</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha evaluada:</b>	
			<b>Solicitado</b>	<b>Ofertado</b>
<b>1</b>	<b>Sistema de Potencia</b>			
1.1	Voltaje Nominal [V]	[V]		
1.2	Variación de Voltaje [+/- %]	[+/- %]		
1.3	Fases [ph]	[ph]		
1.4	Frecuencia [Hz]	[Hz]		
1.5	Variación de Frecuencia [+/- %]	[+/- %]		
1.6	Desbalance de Voltaje [+/- %]	[+/- %]		
1.7	Potencia de corto circuito [k]			
---				
<b>2</b>	<b>Energía</b>			
2.1	En esta sección colocar las características técnicas requeridas para los componentes eléctricos a incluir en el tablero.			
2.2	Calorías del traje a utilizar (colocar las etiquetas de arco eléctrico de acuerdo a NFPA 70E en todas las partes del tablero)			
---				
<b>3</b>	<b>Componentes Generales</b>			
3.1	En esta sección colocar las características técnicas del enclavamiento, grado de protección, dimensiones del tablero, tratamiento del metal, etc.			
3.2				
---				
<b>4</b>	<b>Componentes de Control y Señalización</b>			
4.1	En esta sección colocar las características técnicas requeridas para los componentes de control y señalización.			
4.2				
---				
<b>5</b>	<b>Otros</b>			
5.1	Garantía solicitada			
5.2	Tiempo de Entrega			
5.3	Capacitación			
5.4	Pruebas FAT y SAT			
5.4	Dossier de Calidad			
<b>ELABORADO POR</b> Especialista de Mantenimiento:		<b>APROBADO POR EL COMITÉ CENTRAL DEL RIESGO CRÍTICO 7:</b> Líder Corporativo del Riego Crítico 7 BvN: Representante del Área de Seguridad BvN: Representante del Área de Logística BvN:		
<b>SI NOS CUIDAMOS JUNTOS, NOS CUIDAMOS MEJOR</b>				

Este documento no se encuentra controlado en formato físico. La persona que requiera consultar este documento debe asegurarse que se encuentre en la última versión. Para acceder a la última versión ingresar a:  
[www.buenaventura.com](http://www.buenaventura.com)

**Nota:** Tomado de Sistema Integrado Buenaventura (SIB), E-COR-SIB: Estándares de Control Operativo SIB. E-COR-SIB-03.03 Alimentación de Energía a equipos móviles y movibles\_V03.

## Anexo B. Especificaciones técnicas de la bomba sumergible Tsurumi LH-8110

 <b>TSURUMI PUMP</b>		Drainage Pumps											
SPECIFICATIONS	Model	LH8110											
		LH-series											
		110kW, 3-phase											
<p><b>Type of Pump</b> Submersible high head drainage pump for construction and foundation works, floodwater drainage, etc.</p> <p><b>Type of Fluid</b> Stormwater, groundwater, wash water, and sand-carrying water</p> <p>Temperature: 0 to 40°C</p> <p><b>Discharge Bore &amp; Connection</b> 200mm, JIS 10kg/cm<sup>2</sup> Screwed Flange</p> <p><b>Motor Output</b> 110kW</p> <p><b>Power Supply</b> Three-phase</p> <p><b>Starting Method</b> Star-Delta</p> <p><b>Motor</b> Continuous-duty rated, dry-type induction motor</p> <p>Insulation Class: F Degree of Protection: IP68</p> <p>No. of Poles &amp; Speed (Synchronous Speed) 2-pole, 3000/3600min<sup>-1</sup> (50/60Hz)</p> <p>Power Supply Voltages &amp; Rated Currents</p> <table border="0"> <tr> <td>50Hz</td> <td>60Hz</td> </tr> <tr> <td>380V – 214A</td> <td>380V – 214A</td> </tr> <tr> <td>400V – 205A</td> <td>440V – 185A</td> </tr> <tr> <td>415V – 200A</td> <td></td> </tr> </table> <p><b>Power Cable</b> Sheath: Chloroprene rubber Standard Length: 20m 200 to 600V supply:</p> <table border="0"> <tr> <td>1 x <math>\begin{pmatrix} 3 \times 38\text{mm}^2 \\ 1 \times 22\text{mm}^2 \\ 3 \times 2\text{mm}^2 \end{pmatrix}</math></td> <td>O.D. 35.8mm</td> </tr> <tr> <td>1 x 3 x 38mm<sup>2</sup></td> <td>O.D. 35.9mm</td> </tr> </table> <p><b>Dry Weight</b> (excluding cable) 1250kg</p>	50Hz	60Hz	380V – 214A	380V – 214A	400V – 205A	440V – 185A	415V – 200A		1 x $\begin{pmatrix} 3 \times 38\text{mm}^2 \\ 1 \times 22\text{mm}^2 \\ 3 \times 2\text{mm}^2 \end{pmatrix}$	O.D. 35.8mm	1 x 3 x 38mm <sup>2</sup>	O.D. 35.9mm	<p><b>Impeller</b> Closed Impeller made of high-chromium cast iron</p> <p>Solids Passage 50Hz – <math>\phi</math>20mm 60Hz – <math>\phi</math>20mm</p> <p><b>Mouth Ring</b> Made of high-chromium cast iron, excellent in abrasion-resistance</p> <p><b>Cable Entry with Anti-Wicking Block</b> Watertight cable entry with strain-relief device. The anti-wicking block prevents water incursion due to capillary action should the power cable be damaged or the end submerged.</p> <p><b>Bearing</b> Upper: Cylindrical roller bearing Lower: Duplex angular contact ball bearing mounted back-to-back</p> <p><b>Shaft</b> 420 stainless steel</p> <p><b>Shaft Seal (Mechanical Seal)</b> Furnished with a double-face mechanical seal located in oil chamber. Both upper and lower seal faces always run in a clean environment.</p> <p>Upper Seal Face: SiC + SiC Lower Seal Face: SiC + SiC</p> <p><b>Pressure Relief Port</b> Protects the mechanical seal from over rated limits, and also protects the seal faces from abrasive particles by drawing particles away.</p> <p><b>OIL LIFTER (Patented)</b> Equipped in oil chamber. It forcibly supplies lubricating oil to the mechanical seal and continues to supply the oil to the upper seal faces even if lubricant falls below the rated volume.</p> <p>Type of Lubricating Oil &amp; Volume Turbine Oil (ISO VG32), 8000ml</p> <p><b>Motor Protection Device</b> A miniature thermal protector is embedded in each winding of the motor. Should excessive heat builds up, the bimetal strip opens to cause the control panel to shut the power supply.</p> <p><b>Leakage Sensor</b> Made of 304 stainless steel. It can be wired to a control panel to alert operators of water incursion into the oil chamber.</p> <p><b>Galvanic Anode</b> Protects the pump from electric corrosion, made of aluminium alloy</p>
50Hz	60Hz												
380V – 214A	380V – 214A												
400V – 205A	440V – 185A												
415V – 200A													
1 x $\begin{pmatrix} 3 \times 38\text{mm}^2 \\ 1 \times 22\text{mm}^2 \\ 3 \times 2\text{mm}^2 \end{pmatrix}$	O.D. 35.8mm												
1 x 3 x 38mm <sup>2</sup>	O.D. 35.9mm												
TSURUMI MANUFACTURING CO., LTD.													



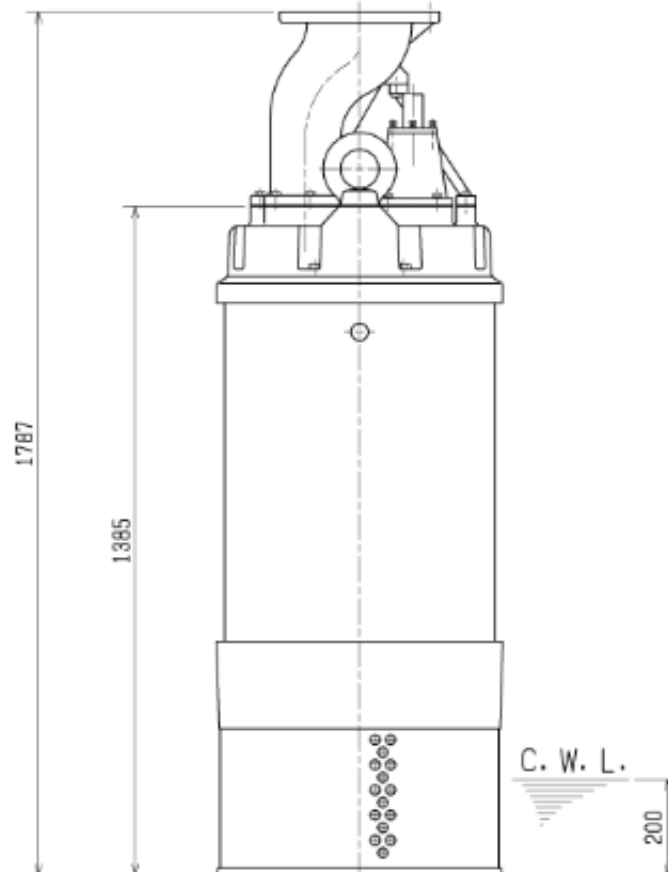
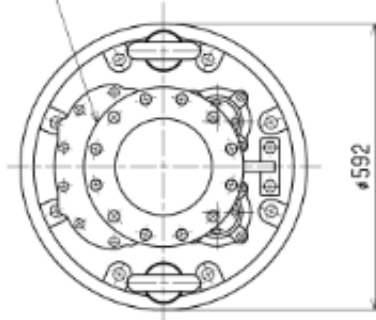


DIMENSION DRAWING		No.	No. A-22230-1
TYPE Submersible High-Head Dewatering Pump	MODEL LH690 -50/60, LH6110 -50/60 LH890 -50/60, LH8110 -50/60		

MODEL	Approximate Weight (kg)
LH6110-50/60	1200kg
LH690 -50/60	1100kg
LH8110-50/60	1250kg
LH890 -50/60	1150kg

※excluding cable

JIS10K (20K) Flange  
Nominal Dia.  
φ200 (φ150)



The Figure in ( ) shows the dimensions of LH690 and LH6110.

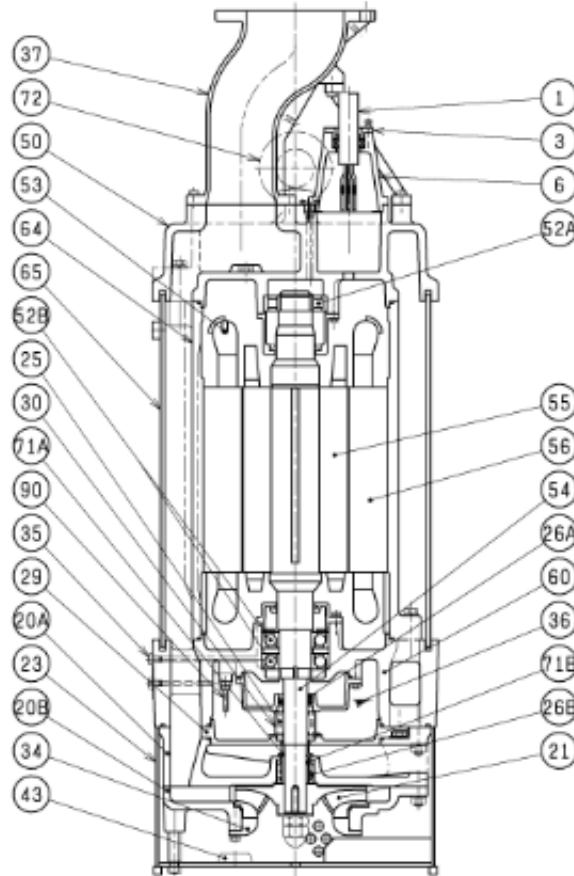
C. W. L. :Continuous running Water Level

TSURUMI MFG. CO., LTD.

unit:mm



<b>SECTIONAL DRAWING</b>		No.	No. A-22232-1
TYPE Submersible High-Head Dewatering Pump		MODEL LH690 -50/60, LH6110 -50/60 LH890 -50/60, LH8110 -50/60	



## REQ. SPECIFICATION

No.	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL / NOTE	No.	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL / NOTE
1	Cable	2	Chloroprene Sheath	50	Motor Bracket	1	Gray Iron Casting
3	Gland	2	Gray Iron Casting	52A	Upper Bearing	1	NU312A
6	Stuffing Box	2	Gray Iron Casting	52B	Lower Bearing	1	7313ADB
20A	Upper Pump Casing	1	Gray Iron Casting	53	Motor Protector	3	
20B	Lower Pump Casing	1	Ductile Iron Casting	54	Shaft	1	Stainless Steel 420J2
21	Impeller	1	Chromium Iron Casting	55	Rotor	1	
23	Strainer Stand	1	Steel Sheet	56	Stator	1	
25	Mechanical Seal	1	H-50TX	60	Bearing Housing	1	Gray Iron Casting
26A	Oil Seal	1	SC507212	64	Motor Frame	1	Gray Iron Casting
26B	Labyrinth Ring	1	Stainless Steel 403	65	Outer Cover	1	Structure Steel
29	Oil Casing	1	Gray Iron Casting	71A	Upper Shaft Sleeve	1	Stainless Steel 403
30	Oil Lifter	1	Steel Sheet	71B	Lower Shaft Sleeve	1	Stainless Steel 403
34	Suction Mouth	1	Chromium Iron Casting	72	Eyebolt	2	Carbon Steel Forging
35	Oil Plug	2	Stainless Steel 304	90	Leakage Sensor Electrode	1	Stainless Steel
36	Lubricant		Turbin Oil (ISO VG32)				
37	Discharge Pipe	1	Ductile Iron Casting				
43	Cathodic Protection Plate	3	Aluminium Alloy				

TSURUMI MFG. CO., LTD.

Nota: Tomado de Tsurumi Pump, Built for Work. Drainage Pumps.

## Anexo C. Especificaciones técnicas del módulo RC48C

### Datos técnicos

#### Coordinación de aislamiento según IEC 60664-1:

Tensión nominal de aislamiento.....	CA 250 V
Tensión de soporte al impulso/grado de contaminación.....	2.5 kV/3

#### Rangos de tensión

Tensión de alimentación US.....	CA/CD 60...264 V, 50...60 Hz
Para UL:	
Tensión de alimentación US.....	CA/CD 110...240 V, 50/60 Hz
Fusible .....	fusible recomendado: lento de 6 A
Consumo de energía.....	aprox. 5 VA a 60 VCA
.....	aprox. 8.5 VA
a 264 VCA	

#### Monitoreo de la corriente residual

Valor de respuesta, corriente residual.....	ajustable 0.1...1 A o 1...10 A
Precisión de $I_{\Delta n}$ / A, (válido para rangos de ajuste x1 y x10)	
en la posición "0.1" y "1" .....	0...-25 %
en la posición "0.3", "0.5" y "0.7" .....	±20 %
Retardo de respuesta.....	programable 0.1...2 s
Precisión del retardo de respuesta.....	±20 %
Corriente de cortocircuito continua.....	200 A
.....	2500 A durante 2 seg
Modo de funcionamiento.....	
enclavamiento	

#### Monitoreo del conductor de puesta a tierra

Valor de respuesta, falla de resistencia en serie.....	40 $\Omega$
Precisión.....	±10 $\Omega$
Tensión de cortocircuito.....	12 V CD
Impedancia de salida.....	240 $\Omega$
Corriente nominal del bucle de medición.....	25 mA CD

Protección contra tensiones externas.....	25 V CA de forma continua
.....	120 V CA durante 3 s
Retardo de la desconexión.....	1.5 s
Tiempo de respuesta, fallas de resistencia en serie.....	0.2 s
Tiempo de respuesta, fallas de resistencia cruzada.....	0.2 s
Precisión del tiempo de respuesta.....	±20 %
Modo de funcionamiento.....	sin enclavamiento

#### Entradas

Conexión al transformador de corriente residual	
Conductor unifilar 0.75 mm <sup>2</sup> (AWG 18).....	hasta 1 m (3')
Conductor unifilar, trenzado 0.75 mm <sup>2</sup> (AWG 18)....	1...10 m (3...30')
Conductor blindado a tierra 0.75 mm <sup>2</sup> (AWG 18)...	10...25 m (30...75')
Conexión a la combinación de indicador remoto de alarmas	
RI2000GC y botón de prueba	
Cable unifilar 0.75 mm <sup>2</sup> (AWG 18)	0...10 m (0...30')

**Salidas**

Elementos de conmutación (relé de alarma).. 2 contactos conmutados (N/O y N/C, Forma C)

Tensión nominal de aislamiento.....CA 250 V / CD 300 V

Capacidad de cierre.....CA/CD 5 A

Capacidad de apertura CA/CD.....2/0.2 A

Número admisible de ciclos de operación.....12,000 ciclos

Modo de operación, elementos de conmutación (relé de alarma)...  
.....A prueba de fallos

Elementos de conmutación (GFA, GCS)..... 2 contactos NO

Tensión nominal de aislamiento.....CA250 V / CD 300 V

Capacidad de cierre.....CA/CD 5 A

Capacidad de apertura CA/CD.....2/0.2 A

Número admisible de ciclos operativos.....12,000 ciclos

**Pruebas tipo**

Prueba de compatibilidad electromagnética (EMC)

Inmunidad.....según IEC 62020

Emisiones.....según EN 50081

Emisiones según EN 55011/CISPR11.....clase A

**Datos generales**

Temperatura ambiente, durante el funcionamiento...-40...+60 °C

(-40...140 F)

Temperatura ambiente, durante el almacenamiento...-55...+80 °C

(-67...176 F)

Clase de clima según IEC 60721 (Excepto condensación y formación de hielo) .....3K5

Modo de operación.....funcionamiento continuo

Montaje.....cualquier posición

Tipo de conexión..... terminales tipo tornillo

Características de conexión, rígido.....0.2...4 mm<sup>2</sup> (AWG 24...12)

Características de conexión, flexible..... 0.2...2.5 mm<sup>2</sup> (AWG 24...14)

Clase de protección según DIN EN 60529

Componentes integrados.....P 30

Terminales.....P 20

Clase de inflamabilidad.....UL94V-0

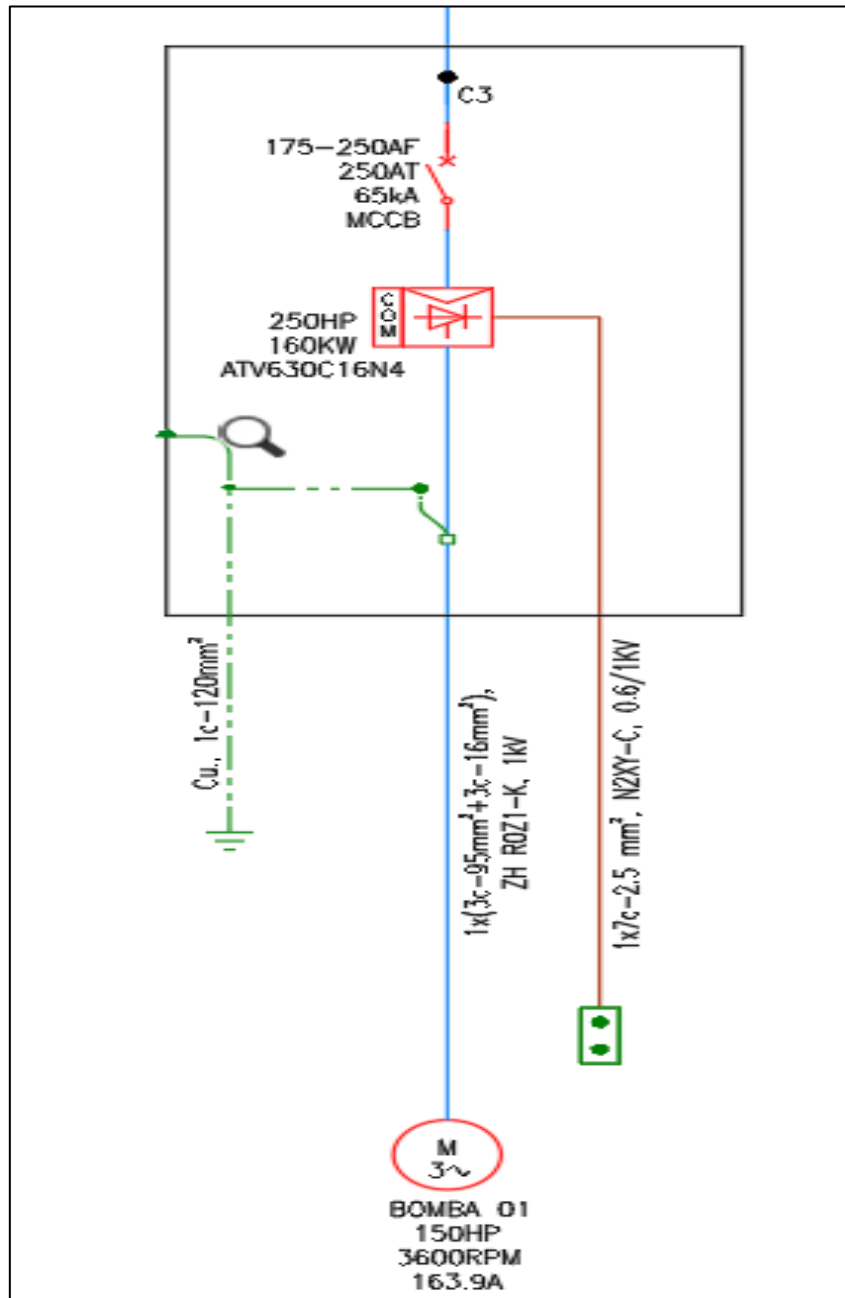
Peso.....aprox. 360 g

*Nota:* Tomado del manual RC48C, Monitor de falla a tierra y de continuidad del conductor de tierra. Bender The Power in Electrical Safety.



Figura 45

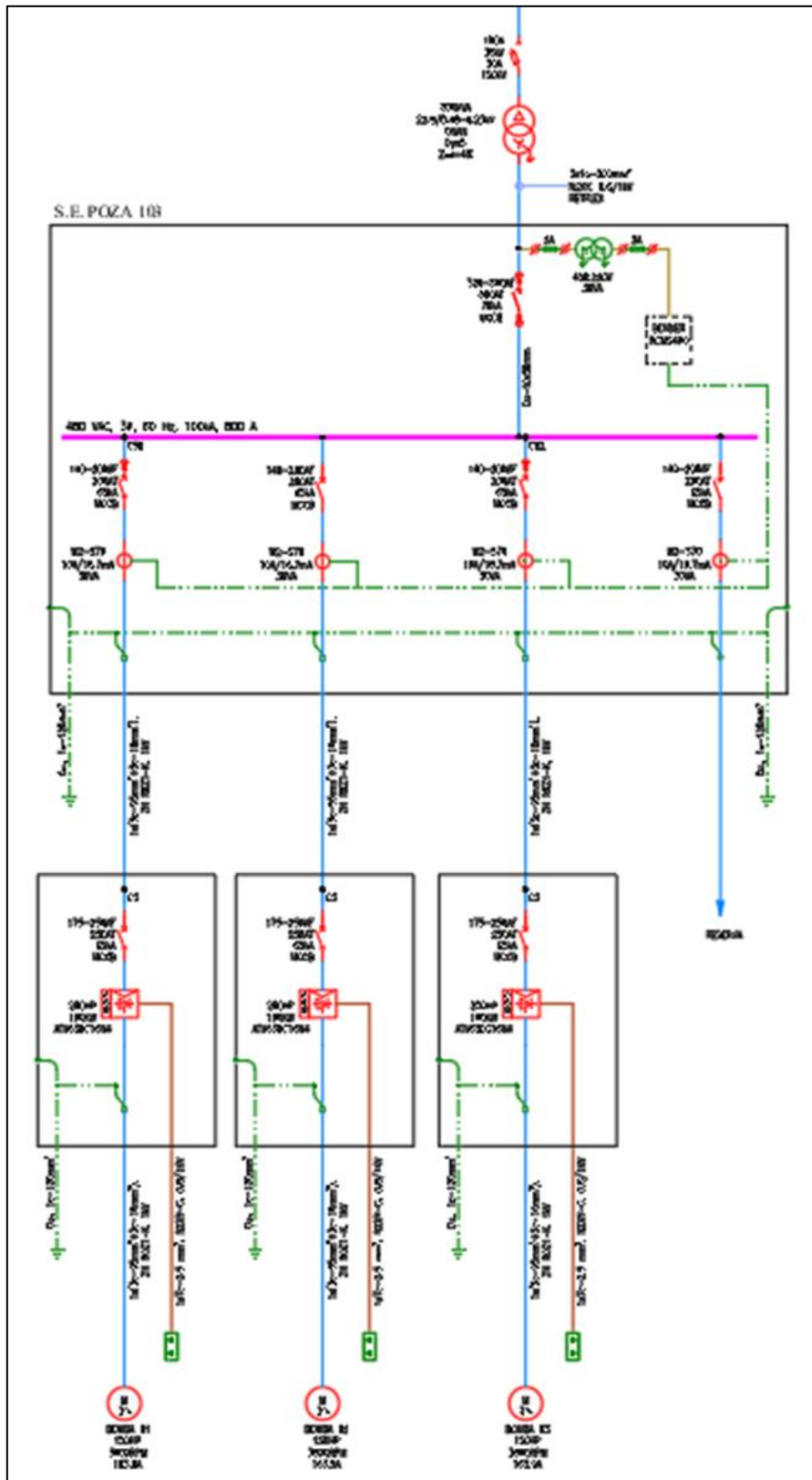
Diagrama unifilar de conexión de una bomba sumergible



*Nota.* Diagrama unifilar de conexión de una bomba sumergible a su variador de frecuencia. Tomado de Diagrama Unifilar Tantahuatay. Tomado de la data del Centro de Control de CMC.

**Figura 46**

Unifilar de Poza 103, usada como referencia para explicar la conexión Ground Fault/ Ground Check



*Nota:* Tomado de la data del Centro de Control de CMC.

## Anexo E. Plan de mantenimiento anual del Sistema de protección Ground Fault/Ground Check

LUGAR	SS.EE / CCM	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMA GROUND FAULT / GROUND CHECK											
		Ene	Feb	Mar	Abr	Mag	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
POZA GAVIOTA	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
POZA CLAUDIA	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
PLANTA TRATAMIENTO AGUAS ACIDAS 15 L	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
POZA 20	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
PLANTA TRATAMIENTO AGUAS ACIDAS 45L	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
LABORATORIO QUÍMICO	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
PLANTA DE PROCESOS TANTAHUATAY	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
DME CN (POZA 103)	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
PLANTA PROCESOS CIÉNAGA NORTE	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
DMS TIVINZA (POZA 28)	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
ADR TANTAHUATAY	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
POZA 215 (TACAMACHE)	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
POZA 207	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
POZA 180K	Centro de Control de Motores (CCM)	X		X		X		X		X		X	
PLANTA TRATAMIENTO AGUAS ACIDAS (SUEZ)	Centro de Control de Motores - 1 (CCM)	X		X		X		X		X		X	
	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
OSMOSIS	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
HORNO RETORTAS	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
POZA CASTINALDO	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X
POZA 19	Centro de Control de Motores (CCM)		X		X		X		X		X		X

**Nota:** Tomado de la data de las oficinas de Planeamiento y Mantenimiento del Centro de Control de Planta de procesos - CMC.