Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Industrial
Unidad de Posgrado

Análisis de riesgos eléctricos en el sector minero – Cusco 2019

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magister Profesional en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales

AUTOR

Frank John NEYRA VELA

ASESOR

Mg. María del Rosario PÁRRAGA VELÁSQUEZ

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Neyra, F. (2020). *Análisis de riesgos eléctricos en el sector minero – Cusco 2019*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	FRANK JOHN NEYRA VELA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45787699
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1133-6875
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	MARÍA DEL ROSARIO PÁRRAGA VELÁSQUEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	25662267
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5034-7489
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	JULIO ALEJANDRO SALAS BACALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08468620
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	SANTOS DE LA CRUZ EULOGIO GUILLERMO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09997277
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	INCHE MITMA JORGE LUIS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07506203
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	WONG CABANILLAS FRANCISCO JAVIER
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	07564428
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.6.7. Seguridad Minera y Gestión de Riesgos
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Cusco Provincia: Espinar Distrito: Espinar Calle: Campamento Minero Tintaya Nro. Sn Campamento Minero Tintaya (Km.5 Yauri Carretera Cusco Arequipa) Latitud: -14.88376173205629 Longitud: -71.3132948453566
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2018 - 2019
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04 Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01

UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL Nº 08-UPG-FII-2020

SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER PROFESIONAL EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES Y AMBIENTALES

En la ciudad de Lima, del día 20 del mes de julio del dos mil veinte, siendo las nueve horas, de forma virtual se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"ANÁLISIS DE RIESGOS ELÉCTRICOS EN EL SECTOR MINERO – CUSCO 2019",** para optar el Grado Académico de Magister Profesional en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido **APROBADO** con la calificación de **DIECISEIS (16) BUENO**

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Magister Profesional en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales, al **Bach. NEYRA VELA FRANK JOHN.**

En señal de conformidad, siendo las **10:40** horas se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

UNMSM
Firmado digitalmente por SALAS BACALLA Julio Alejandro FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 20.07.2020 12:58:11 -05:00

Mg. SALAS BACALLA, JULIO ALEJANDRO
Presidente

Dr. WONG CABANILLAS, FRANCISCO JAVIER
Miembro

MSM
Firmado digitalmente por INCHE MITMA Jorge Luis FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 12.08.2020 22:10:27 -05:00

Dr. INCHE MITMA, JORGE LUIS
Miembro

Dr. EULOGIO GUILLERMO, SANTOS DE LA CRUZ
Miembro

UNMSM
Firmado digit lmente por PARRAGA VELASQUEZ Maria Del Rosario Elsa FAU 2014809282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.08.2020 12:41:16 -05:00

Mg. PÁRRAGA VELÁSQUEZ MARÍA DEL ROSARIO
Asesora

UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

1. Facultad de Ingeniería Industrial.
2. Unidad de Posgrado.
3. Autoridad académica: Director (e) de la Unidad de Posgrado.
   Dr. **JUAN MANUEL CEVALLOS AMPUERO**.
4. Operador del programa informático de similitudes: Asistente de Tesis de la UPG.
1. Documento Evaluado: Tesis de posgrado para optar el Grado Académico de Magíster Profesional en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales. Titulado **"ANÁLISIS DE RIESGOS ELÉCTRICOS EN EL SECTOR MINERO – CUSCO 2019"**.
2. Autor del Documento: Bach. Frank John.Neyra Vela
3. Fecha de recepción del documento: 18/05/2020.
4. Fecha de aplicación del programa de similitudes: 18/05/2020.
5. Software utilizado: Turnitin.
6. Configuración del programa detector de similitudes:
   a. Excluye textos entrecomillados.
   b. Excluye cadenas menores a 40 palabras.
   c. Excluye Índice
7. Porcentaje de similitudes encontradas: Tres por ciento (03%).
8. Fuentes originales de las similitudes encontradas (Ver informe de originalidad).
9. Sin observaciones.
10. Calificación de originalidad.
    d. Documento que cumple criterio de originalidad, sin observaciones.
11. Fecha del informe: 18 de mayo de 2020.



Dr. JUAN MANUEL CEVALLOS AMPUERO
Director (e) de la Unidad de Posgrado

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

La presente tesis la dedico con todo cariño a Dios y a mi adorada familia, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

Agradezco a todos mis seres queridos por sus palabras de aliento incondicional para poder alcanzar esta meta profesional.

INDICE GENERAL

I. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN……..…. 01

1.1 Situación Problemática……. 02

1.2 Formulación del Problema……... 07

1.2.1. Problema General…….…… 07

1.2.2. Problemas Específicos…….….. 07

1.3 Justificación de la Investigación……... 08

1.3.1 Justificación Teórica……. 08

1.3.2 Justificación Práctica…… 08

1.4 Objetivo de la Investigación…….…. 09

1.4.1. Objetivo General..……. 09

1.4.2. Objetivos Específicos……... 09

II. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO……. 10

2.1 Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación….. 10

2.2 Antecedentes del Problema…… 11

2.3 Bases Teóricas…… 15

2.4 Glosario de temimos …….. 25

III. CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES…… 29

3.1 Hipótesis General……..... 29

3.2 Hipótesis Especificas …… 29

3.3 Identificación de variables…….…..... 29

3.3.1 Variable Independiente…… 29

3.3.2 Variable Dependiente……..…… 30

3.4 Definición de Variables…….. 30

IV. CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA……. 34

4.1 Tipo y diseño de investigación…….. 34

4.2 Unidad de análisis…… 35

4.3 Tamaño y selección de muestra……. 35

4.4 Técnicas de recolección de datos…….. 35

4.5 Criterios de evaluación en la investigación en campo…… 36

4.6 Análisis e interpretación de la información…… 37

4.7 Confiabilidad…… 37

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN …… 38
5.1 Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados…… 38
5.2 Pruebas de Hipótesis……. 80
5.3 Presentación de Resultados……. 81

VI. CONCLUSIONES…..…….. 88
VII. RECOMENDACIONES…… 89
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS …..……..…….. 91

LISTA DE TABLAS

1. Tabla 1: Accidentes mortales por energía eléctrica……... 03
2. Tabla 2: potencial máximo de consecuencia……... 16
3. Tabla 3: Probabilidad de ocurrencia del riesgo…..…. 16
4. Tabla 4: Estadística de contraste de hipótesis general…….…….. 39
5. Tabla 5: Estadística de contraste de hipótesis especifica 1…….…….. 40
6. Tabla 6: Estadística de contraste de hipótesis especifica 2…….…… 41
7. Tabla 7: Modelo de regresión y correlación……...….. 41
8. Tabla 8: Distribución Beta…….……...…… 42
9. Tabla 9: Consideraciones a tomar para el uso de la norma IEEE 1584…….……..... 52
10. Tabla 10: Estimación de la Corriente de Arco……..… 52
11. Tabla 11: Estimación Normalizada de Energía Incidente…….…….... 53
12. Tabla 12: Estimación de la Energía Incidente..…….. 53
13. Tabla 13: Factores para Equipos y Clases de Tensión…….…. 54
14. Tabla 14: Límites de protección de arco……..…… 54
15. Tabla 15: Estimación de la Corriente de Arco……..….. 55
16. Tabla 16: Estimación Normalizada de Energía Incidente…….…….... 56
17. Tabla 17: Estimación de la Energía Incidente……..….. 56
18. Tabla 18: Límites de protección de arco……..…… 57
19. Tabla 19: Diámetro Esférico del Arco…….……. 58
20. Tabla 20: Incremento de la temperatura en la piel…..... 59
21. Tabla 21: Diámetro Esférico del Arco……..……. 59
22. Tabla 22: Incremento de la temperatura en la piel...…... 60
23. Tabla 23: Rango y Efecto de la Corriente…..……..….. 68
24. Tabla 24: Variables de Resistencia de la Piel…..…..... 69
25. Tabla 25: Valores de Resistencia de Concreto……..... 70

26. Tabla 26: Calculo de Corriente a través del Cuerpo…. 72
27. Tabla 27: Fronteras de aproximación……..……..... 75
28. Tabla 28: Matriz de Identificación de Peligros
Evaluación y Control de Riesgos (IPERC)…… 83

LISTA DE CUADROS

1. Cuadro 1: Variable Independiente……..…… 31
2. Cuadro 2: Variable Dependiente……..…… 33
3. Cuadro 3: Criterios de Evaluación …….……. 36
4. Cuadro 4: Alfa de Cronbach…….. 37
5. Cuadro 5: Valoración de intervalos de correlación de PEARSON…… 43
6. Cuadro 6: Sistemas Típicos de Vestimenta Protectora…….……. 64
7. Cuadro 7: Diferencia entre personal calificado y no calificado……..….. 74
8. Cuadro 8: Clases de guantes aislantes…….. 78
9. Cuadro 36: Clases de calzado dielectrico…..……..… 79

LISTA DE FIGURAS

1. Figura 1: Evolución de Accidentes Mortales por Energía Eléctrica……..……..…... 04
2. Figura 2: Observaciones Sub-estándar …...……..... 04
3. Figura 3: Pirámide de Bird ……..……..……..... 05
4. Figura 4: Proceso de investigación …….. 35
5. Figura 5: Correlación de PEARSON……..….. 43
6. Figura 6: Fronteras de Protección……..….. 46
7. Figura 7: Etapas del Arco Electrico……..…… 51
8. Figura 8: Frontera de Protección contra Arco Eléctrico para 480 VAC…… 63
9. Figura 9: Frontera de Protección contra Arco Eléctrico para 4.16 Kvac…….. 63
10. Figura 10: Etiqueta de seguridad para sistema de 480 V…….. 65
11. Figura 11: Etiqueta de seguridad para sistema de 4.16 kV……... 65
12. Figura 12: Fronteras de Protección……..... 76
13. Figura 13: Fronteras de Protección contra Choque Eléctrico para 480 VAC……. 77
14. Figura 14: Etiqueta de seguridad para sistema de 480 V…….. 79
15. Figura 15: Etiqueta de seguridad para sistema de 4.16 kV……... 80
16. Figura 16: Proceso de evaluación de riesgos……... 82
17. Figura 17: Matriz 5x5……. 84
18. Figura 18: Optimización de condiciones y reducción del riesgo ……. 87

RESUMEN

La electricidad, el motor del progreso en toda industria y la forma de energía más utilizada en el mundo actual, sin embargo, si no es protegida y no se tiene los conocimientos necesarios, esta es una gran preocupación por el potencial de causar daño.

Se debe tener claro que los accidentes no son eventos inevitables, o algo que sucede irremediablemente por casualidad o porque tenía que pasar; estos eventos fortuitos se generan por una serie de actividades que están bajo el control de todos y simplemente no se toman las decisiones correctas al desarrollar una determinada actividad.

En todo tipo de instalaciones eléctricas se cuenta con riesgos latentes que podrían degradar la seguridad o salud de una persona, como es el choque eléctrico y el arco eléctrico, riesgos que podrían ser minimizados si se realiza un análisis completo de todas las instalaciones haciendo un estudio detallado de arco eléctrico y choque eléctrico, con la finalidad de utilizar sistemas de protección con la capacidad suficiente para eliminar fallas en periodos muy cortos de tiempo.

Sin embargo, en el momento que llega a producirse la falla se llega a generar un arco eléctrico, o al momento que se tiene un punto expuesto de energía eléctrica se llega a tener un choque eléctrico, riesgos que son capaces de lesionar seriamente a un trabajador.

La seguridad eléctrica consiste en reconocer los peligros asociados al uso de la energía eléctrica y tomar precauciones para que los peligros no causen lesiones o muerte, al realizar un estudio de arco y choque eléctrico basado en la NFPA 70E – IEEE1584, los resultados deben aportar para la prevención de accidentes.

ABSTRAC

Electricity, the engine of progress in every industry and the most used form of energy in today's world, however, if it is not protected and you do not have the necessary knowledge, this is a great concern for the potential to cause damage.

It must be made clear that accidents are not inevitable events, or something that happens irretrievably by chance or because it had to happen; these fortuitous events are generated by a series of activities that are under our control and we simply do not make the right decisions when developing a certain activity.

In all types of electrical installations there are latent risks that could degrade the safety or health of a person, such as electric shock and electric arc, risks that could be minimized if a complete analysis of all the facilities is done by a study detailed electric arc and electric shock, in order to use protection systems with sufficient capacity to eliminate failures in very short periods of time.

However, at the moment that the failure occurs, an electric arc is generated, or when you have an exposed point of electrical energy, you get an electric shock, risks that are capable of seriously injuring a worker.

Electrical safety consists in recognizing the hazards associated with the use of electrical energy and taking precautions to prevent hazards from causing injury or death. When conducting a study of arc and electric shock based on NFPA 70E - IEEE1584, the results must provide for the prevention of accidents.

I. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la industria minera se tiene diversidad de peligros con diferentes niveles de potencial de causar daño ya sea a la persona, a la propiedad o al medio ambiente. Una evaluación de riesgos es importante para prevenir la ocurrencia de accidentes, al evaluar anticipadamente los riesgos y tomar medidas para controlarlas se evitaría muchos decesos laborales.

El riesgo de arco eléctrico ya ha existido desde que el hombre empezó a utilizar la energía eléctrica, pero el número de muertes, lesiones graves, quemaduras y pérdida de bienes ha aumentado debido a una falta de concientización sobre seguridad eléctrica.

El presente trabajo tiene la finalidad de analizar riesgos del sector eléctrico, como es el arco eléctrico y el choque eléctrico, y proponer medidas preventivas a estos riesgos que se encuentran latentes en cualquier instalación o equipo que interactúe con una fuente de energía eléctrica.

El método a aplicar para este trabajo es realizar un análisis de arco eléctrico y de choque eléctrico aplicando las formulas propuestas según la NFPA 70E – IEEE1584 para el estudio.

Luego de realizar el cálculo de la energía incidente (para caso de arco eléctrico), se deberá calcular las distancias de aproximación tanto para personal calificado y no calificado.

En cuanto al choque eléctrico se debe calcular en diferentes escenarios como podría variar el paso de corriente a través del cuerpo y cuáles son los factores que se debe considerar para reducir la probabilidad de ocurrencia.

Con los resultados de los análisis se deben poder identificar los equipos de protección personal a utilizar, a fin de minimizar la severidad del riesgo.

El principal interés de realizar un estudio en seguridad eléctrica es de poder conocer más acerca de estos fenómenos y de esta forma se pueda aplicar en diferentes áreas operativas, como por ejemplo en la operación de equipos, mantenimiento de equipos, sistemas o en cualquier otra actividad donde se encuentre expuesto a un riesgo eléctrico, para así poder implementar las medidas de control adecuadas y así asegurar un entorno de trabajo eléctricamente seguro, cumpliendo un sabio adagio que dice “todo trabajador debe llegar a su casa tal cual como salió de ella”

1.1. Situación Problemática

Actualmente la energía eléctrica viene siendo un recurso muy utilizado y aprovechado, se comprende que es una fuente de peligro con un alto potencial de causar daño.

Gran parte de la problemática, está referida a los estados de incompetencia-inconsciente e incompetencia-consciente del personal que interactúa con esta fuente de energía, ya sea al manipular un equipo, circuito o sistema, es decir no conocen el nivel de la consecuencia si se llegara a tener un contacto con un punto expuesto de energía eléctrica o si estarían expuestos a una energía incidente.

Otra problemática son las condiciones de trabajo que da el empleador, donde las mejoras no siempre son implementadas debido a la generación de costos, burocracia de empresas, falta de compromiso o interés de la línea de mando, entre otros; esperando que alguien se lesione o muera en el peor de los casos, para recién adoptar las mejoras a favor del trabajador.

La problemática de las condiciones sub estándares en el entorno de trabajo es que no cuentan con el mínimo requerido para poder manipular o contener sistemas eléctricos, es decir la informalidad de la construcción o instalación, es lo que genera un ambiente inestable.

Los estados más críticos ya mencionado de los trabajadores son los de Incompetencia-inconsciente e Incompetencia-Consciente, estados donde el personal tiene una deficiencia en la identificación de peligros y evaluación de riesgos en materia de seguridad eléctrica, y en caso llegue a suceder alguno de estos fenómenos eléctricos los efectos que ocasionarían por un manejo inadecuado de sistemas eléctricos o trasgrediendo distancias de seguridad, se tendría un alto potencial de causar paros cardio-respiratorios, contracciones musculares, quemaduras internas y/o externas, sordera, incrustaciones por material, radiación e incluso la muerte.

Durante los 10 últimos años (periodo 2010-2019) se ha tenido accidentes mortales en el sector eléctrico minero a nivel nacional, según data estadística del Ministerio de Energía y Minas (actualizado hasta el 31 de diciembre del 2019). Sin embargo, por no comprender la importancia de un sistema de seguridad eléctrica lamentablemente ha desencadenado un total de 23 fatalidades en el sector minero peruano. (Ver tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1:

Accidentes mortales por Energía Eléctrica

Años	Contratista Minero	Titular Minero	Empresas Conexas	Sub Total
2010	1	4	0	5
2011	0	2	1	3
2012	0	1	2	3
2013	2	1	0	3
2014	1	0	0	1
2015	0	0	1	1
2016	0	0	1	1
2017	2	0	2	4
2018	0	0	2	2
2019	0	0	0	0
		Total		**23**

Fuente. Ministerio de Energía y Minas. (2019). Fax Coyuntural de Accidentes Mortales. Lima, Perú. Recuperado de http://www.minem.gob.pe/_estadistica.

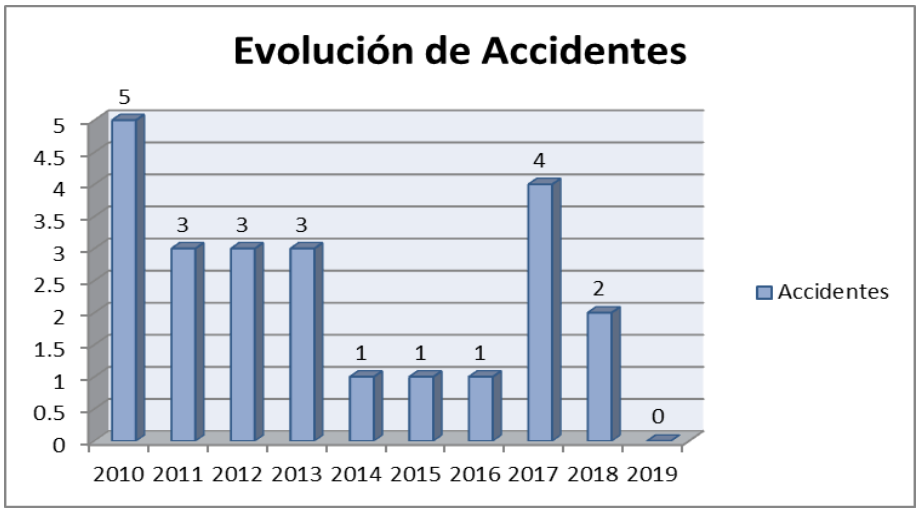

Figura 1. **Evolución de Accidentes Mortales por Energía Eléctrica.**

Fuente. Elaboración Propia, en base al MINEM (2019). Fax Coyuntural de Accidentes Mortales. Lima, Perú.

Desde el punto de vista estadístico, se puede interpretar en la Figura 1 que se está adoptando algunos controles en el sector minero frente a las fatalidades generadas por una fuente de energía eléctrica, reduciendo hasta una fatalidad anual, sin embargo, el factor que demanda una mayor preocupación es el aumento de actos y generación de condiciones sub estándar como se muestra en la figura 2:

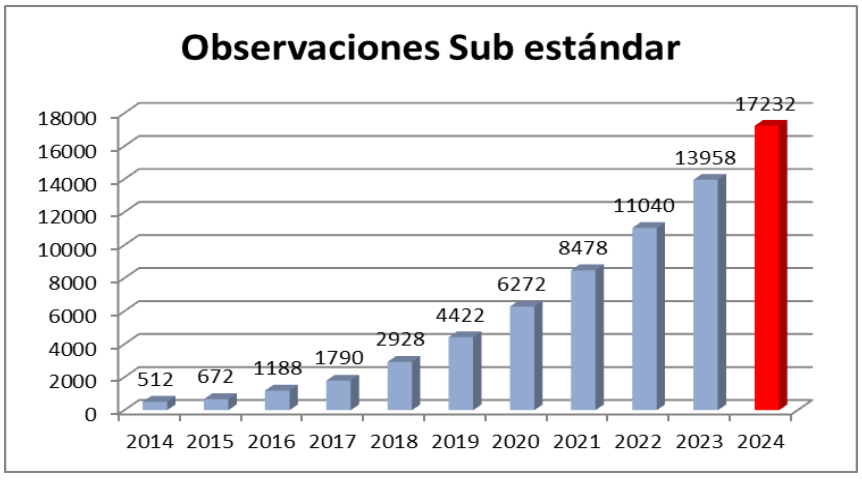

Figura 2. **Observaciones Sub-estándar**

Fuente. Elaboración Propia, en base a Compañía Minera. (2019). Cusco, Perú.

Se llegó a obtener información sobre actos y condiciones sub estándar desde el 2014 al 2016 en una minera ubicada en cusco, sin embargo, al realizar un modelo matemático (método del crecimiento parabólico) se tuvo una tendencia creciente hasta el 2024, teniendo un dato muy alarmante en el año 2024, con un valor de 17232 observaciones generadas, ver figura 2.

Bird (1969), demostró en una pirámide que hay una relación entre los accidentes leves, graves y fatales con los actos y condiciones sub estándares, llegando a cuantificar de la siguiente manera (Figura 3):



Figura 3. **Pirámide de Bird**
Fuente. Vasquez, R. (2014). La teoría de la causalidad de Bird (Frank Bird). Santiago, Chile. Recuperado de http://www.emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=555&edi=25

Se puede interpretar la Figura 3 de la siguiente manera: que para que se genera 1 fatalidad han debido suceder 30 accidentes graves, 300 accidentes con lesiones registrables, 3000 cuasi accidentes o primeros auxilios y 30000 actos y condiciones sub estándares; entonces la siguiente pregunta: ¿cuantos actos y condiciones se deben generar para alcanzar una fatalidad?; pues se llegó a realizar una secuencia lógica y se llegó a calcular un valor para cada nivel de

la pirámide en base a las observaciones sub estándares por cada año.

Regresando a la figura 2 “Observaciones Sub-Estándar”, se identifica en el año 2024 la probabilidad de ocurrencia de un fatal con un porcentaje de 57% (caso hipotético) donde se tiene el valor de 17232 observaciones subestandares; por lo tanto, se debe recordar que esta información es de una sola minera, si se juntan las observaciones de todos los sectores a nivel nacional se podría mencionar varias fatalidades y si no se empieza a realizar o establecer controles inmediatos y eficientes frente a los riesgos asociados con energía eléctrica.

Cabe mencionar que en sectores informales la probabilidad de ocurrencia de un fatal es muy alta, debido a la falta de conocimiento e inversión para poder administrar el riesgo de tal forma que sea aceptable. Por ejemplo hace poco en el mes de octubre un operador de camión grúa se encontraba realizando maniobras cerca de líneas energizadas, terminando en una electrocución (muerte por un choque eléctrico), y las causas identificadas son muy idénticas a las observaciones dadas en la estadística ya presentada.

Según investigaciones realizadas por organismos especializados en Seguridad y Salud Ocupacional, la Fundación Científica y Tecnológica. (2013). Seguridad eléctrica la protección integral es el objetivo. HSEC. Pag 01. Afirma que “más del 75% de los accidentes del trabajo en la industria eléctrica se produce por causas como ignorancia, imprudencia, desconocimiento, falta de preparación, negligencia, problemas de seguridad técnica y personal insuficiente”.

Según data señalada por la la Fundación Científica y Tecnológica. (2013). Seguridad eléctrica la protección integral es el objetivo. HSEC. Pag 01 afirma que el 60% de accidentes ocurre por arco eléctrico y el 40% por choque eléctrico, igualmente, esta institución señala que se podría estimar algunos porcentajes en base a sus causas:

- Falta de preparación personal 29.90%
- Falta de experiencia 19.70%
- Orientación en el trabajo insuficiente 16.50%
- Entrenamiento insuficiente 13.20%
- Aislamientos deficientes 7.30%
- Falta de mantenimiento a los equipos 5.30%
- Ordenes mal interpretadas 3.10%
- Fallas del sistema puesta a tierra 2.60%
- Instalaciones deficientes 2.40%

En el sector minero, la evaluación de riesgos eléctricos y la aplicación de sus controles son de carácter obligatorio haciendo énfasis en la normativa legal, por esta razón este estudio está dirigido a realizar el análisis de riesgos eléctricos (choque eléctrico y arco eléctrico) para poder definir los controles a fin de minimizar la probabilidad de ocurrencia de que se materialice este peligro.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera las condiciones de trabajo y un análisis de riesgos eléctricos se relacionan para que se reduzcan accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo se relacionan las condiciones de trabajo ante un arco eléctrico para que se reduzcan accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019?

2. ¿De qué manera se relacionan las condiciones de trabajo ante un choque eléctrico para que se reduzcan accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019?

1.3. Justificación de la Investigación

1.3.1. Justificación Teórica

La presente investigación aporta al sistema de seguridad y salud ocupacional, buscando ampliar el conocimiento del sector minero en cuanto a la exposición de riesgos con energía eléctrica para todos los trabajadores, con la finalidad de prevenir accidentes.

Para ello se tienen fundamentos internacionales como la National Fire Protection Association (NFPA) en el cual especifica el *Standard for Electrical Safety in the Workplace* (NFPA 70E) y el Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), donde se especifica la *Guide for Performing Arc Flash Calculations* (IEEE 1584).

También se tiene fundamentos nacionales como el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad (R.M. 111-2013 MEM/DM) y diferentes normas técnicas peruanas.

1.3.2. Justificación Práctica

La Justificación Practica de la investigación se enfoca en la prevención de riesgos (arco eléctrico o choque eléctrico), basándose en la NFPA 70E y en la IEEE 1584, mostrando el análisis e interpretación de resultados.

En el sector minero se tienen análisis realizados por incidentes reales, análisis que servirán como fundamentos para ampliar conceptos y así contribuir con el objetivo de prevenir accidentes.

Con esta investigación también se pretende reducir la probabilidad del riesgo eléctrico en el sector minero, consolidando la información con la finalidad de poder alcanzar cubrir otros rubros. En la actualidad se observa en los diferentes rubros de la industria su principal recurso es la

fuente de energía eléctrica, por lo tanto esta investigación se relacionaría a todas ellas.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo general

Relacionar las condiciones de trabajo analizando los riesgos eléctricos y sus implicancias para que se reduzcan accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Relacionar la intensidad de un arco eléctrico para que se reduzcan accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

2. Relacionar la intensidad de un choque eléctrico para que se reduzcan accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

II. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación

El proceso de aprendizaje de los seres humanos empieza al momento de nacer y nunca termina hasta su muerte. Según Maslow, A. (1943), muestra con su pirámide las necesidades más básicas, donde primero es aprender y dominar algunos aspectos o criterios para poder pasar a otro nivel (dentro de los 5 niveles fisiológicos, seguridad, afiliación, reconocimiento y autorrealización). Donde la idea principal es que solo las necesidades más altas ocupen nuestra atención si las necesidades más bajas ya han sido satisfechas.

Para poder comprender el proceso de aprendizaje de Maslow, A. (1943), se tiene la escalera de incompetencia inconsciente, incompetencia consciente, competencia consciente y competencia inconsciente, escalera que ayuda a comprender como poder llegar a alcanzar la disciplina.

Maslow, A. (1943), menciona “que al llegar al punto de competencia inconsciente, es la etapa de gozo sobre lo aprendido cuando ya se pondrá en práctica automática o cuando ésta se aplica inconscientemente como un hábito”. Esta es donde la mejora continua prevalece para generar una cultura de seguridad.

Sobrino, J. (2013), menciona en su libro una conversacion entre Russell Ackor con Edward Deming; “la forma de administrar que han enseñado en el mundo occidental consiste en tomar un sistema complejo, dividirlo en partes, tratar de administrar cada parte tan bien como se pueda, suponiendo que sea el sistema como un todo se comportara bien”.

Literalmente es posible mejorar el desempeño y la seguridad por partes separadas, sin embargo, no es del todo cierto, ya que al mejorar el desempeño por separado al mismo tiempo se destruiría el sistema.

Realmente es interesante la ideología que señala la conversación de Ackor con Deming, sin embargo, la mejora se puede dar a un todo aludiendo el todo como familia, trabajo, formación, etc.

Sin embargo, la electricidad siempre representa un riesgo alto para quienes trabajan con ella. Aunque a mayor nivel de tensión o voltaje, las consecuencias para la salud son más graves, pero no es menos cierto que un accidente en baja tensión incluso puede ser fatal.

Por lo tanto se debe realizar la mejora o la aplicación de controles a todo un sistema a fin de buscar la eficiencia tanto producción y seguridad.

2.2. Antecedentes del Problema

2.2.1. Antecedentes Internacionales

Clavijo, R, Vera, V, y Landin, F. (2009). Análisis de los riesgos y peligros de incendio en estaciones de transformación de energía y centro de control de motores (Tesis de Pregrado para obtener el Título de Ingeniero en Electricidad Especialización Electrónica y Automatización Industrial).

Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Presenta el siguiente resumen: Dentro de la central de generación existen riesgos que deben ser analizados, para efectos de este análisis se enfocará en el centro de transformación de energía, área de vital importancia para el proceso productivo de ECOELECTRIC, por tal motivo las definiciones básicas aplicadas al caso y sus componentes se tuvieron claros en cuanto a los potenciales riesgos eléctricos que pueden producir un incendio y posteriormente valorar el grado de riesgo.

Rivadeneira, L, y Torres, V. (2010). Análisis de fallas y control de protecciones como prevención de riesgos eléctricos (Tesis de pregrado para obtener el Título de Ingeniero en Electricidad Especialización Electrónica y Automatización Industrial).

Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Presenta el siguiente resumen: Esta tesis ha sido desarrollada con el afán de analizar diversos aspectos con relación al trabajo en instalaciones eléctricas, ya que muchas veces por malas costumbres de trabajo o por no hacer una buena elección del material de trabajo ha desencadenado en una serie de accidentes tales como lesiones, quemaduras e incluso la propia muerte del trabajador así como incendios o explosiones en las inmediaciones de la instalación.

Logró un enfoque de los diversos elementos de protección con los que podrá asegurar la calidad de una instalación eléctrica mostrando sus principales características, así como los equipos de protección personal que deben llevarse al momento de realizar un trabajo, y de esta forma conservar la vida de las personas quienes son lo más importante en un proceso.

Serrano, J. (2011). Análisis y gestión de riesgos en el mantenimiento de un sistema eléctrico, caso de: una subestación de alta tensión (Tesis de postgrado para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas).

Instituto Politécnico Nacional, México.

Presenta el siguiente resumen: En este trabajo de tesis se presenta un Análisis HAZOP en el Mantenimiento de una Subestación Eléctrica de Alta Tensión, de manera particular en una subestación eléctrica de potencia para rectificación del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México, debido a que un sistema de este tipo por la gran

extensión de la red con la que cuenta, en el se tiene una gran cantidad de subestaciones eléctricas, lo cual lo hace susceptible a fallos que se pueden derivar en afectaciones económicas, políticas, sociales y ambientales. En este trabajo de tesis se utilizará la Metodología HAZOP para la identificación de riesgos asociados con el mantenimiento de una subestación eléctrica.

Trejo, J. (2013), Comparación de la norma NFPA 70E y la IEEE1584-2002 para el análisis del arco eléctrico para el uso adecuado del equipo de protección personal (Tesis de pregrado para obtener el Título de Ingeniero Electricista).

Instituto Politécnico Nacional, México.

Presenta el siguiente resumen: al realizar una comparación de las normas NFPA 70E y IEEE1584 se determina la exposición de energía incidente a los trabajadores, encontrando en varios puntos de un sistema eléctrico de potencia industrial de acuerdo a la magnitud de la tensión de operación y de la corriente de corto circuito. La intensidad y brillo del arco eléctrico puede ocasionar daños a los trabajadores que les dan mantenimiento a dichos equipos, pudiéndoles ocasionar daños en su vista, quemaduras de primero, segundo o tercer grado, e inclusive la muerte. Además la determinación de la categoría de riesgo de acuerdo al nivel de energía incidente e identificación del equipo de seguridad de acuerdo a las normas citadas.

Implementar las medidas de seguridad adecuadas y saber las características de los equipos de protección adecuadas a las categorías de peligro riesgo a fin de reducir la severidad ante la exposición de un arco eléctrico.

2.2.2 Antecedentes Nacionales

López, J. (2003). Programa en microsoft visual basic 6.0 para el análisis de riesgos eléctricos en oficinas y centro de cómputo (Tesis de pregrado para obtener el Título de Ingeniero Industrial).

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Presenta el siguiente resumen: El diseño del programa "Riesgos Eléctricos", cuyo objetivo es analizar los riesgos eléctricos en oficinas y centros computo, mediante la identificación de peligros y la propuesta de acciones correctivas. La lista de peligros que se muestra no es exhaustiva, en cada caso un ingeniero electricista tendrá que elaborar una lista propia, teniendo en cuenta el carácter de las actividades de trabajo y los lugares en los que se desarrollan.

Este programa comprende los menús: Riesgos, accidentes y ayuda. Con el menú riesgos permite identificar los peligros más frecuentes en tableros eléctricos, tomacorrientes, luminarias, conductores y pozos a tierra; además señala las causas de los accidentes eléctricos y las sugerencias para evitarlas.

Barahona, E. (2015). Evaluación y propuesta para controlar la seguridad pública en la distribución eléctrica en Perú (tesis de postgrado para obtener el Grado de Magister en Regulación de Servicios Públicos).

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Presenta el siguiente resumen: El objetivo de la presente investigación es evaluar los resultados del control de la seguridad pública en la distribución eléctrica en Perú, tomando en consideración el enfoque de la regulación de la seguridad e identificar alternativas que permitan incrementar el nivel de

protección de las personas y disminuir la cantidad de accidentes fatales. Para esto se organiza un marco para la regulación de la seguridad pública y se introducen conceptos del análisis económico de los accidentes y de eficiencia de la regulación.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Mejora de condiciones de trabajo

Para asegurar las condiciones del trabajo, un análisis de riesgos, asociado, con la mejora continua, puede establecer formas de trabajo logrando ser más productivos, llegando así a optimizar el sitio de trabajo. Esta filosofía está directamente relacionada con el círculo de Deming, E. (2013), (Planificar, hacer, verificar y actuar).

2.3.2. Análisis de riesgos eléctricos

Para la presente investigación es de vital importancia tener claro que el análisis será el proceso de deducción o descomposición de partes de un algo, con el objetivo final de hacer una propuesta sintetizando ideas basadas en el análisis.

Ahora el análisis de riesgos comprende el estudio de posibilidades y consecuencias de cada factor de riesgos eléctricos (arco y choque eléctrico), de tal forma que permita optimizar las condiciones de trabajo y así administrar el riesgo tan bajo sea razonablemente factible.

2.3.3. Potencial máximo de consecuencia.

Dentro del análisis para riesgos eléctricos es necesario poder establecer parámetros cualitativos y cuantitativos, uno de estos parámetros es el Potencial Máximo de Consecuencia (PMC), que se entiende que es la verosímil consecuencia del peor

escenario donde todos los controles del riesgo son asumidos ineficaces o inexistentes (Ver tabla 2).

Tabla 2:

Potencial máximo de consecuencia

NIVEL	1 - INSIGNIFICANTE	2 – MENOR	3 - MODERADO	4 - MAYOR	5 - CATASTROFICO
POTENCIAL MAXIMO DE CONSECUENCIA	• Lesión con Primeros Auxilios (FAI) / malestar leve a la salud	• Lesión con Tratamiento Médico (MTI) y/o con efectos a la salud temporales • Lesión con trabajo restringido (RWI)	• LTI / lesión incapacitante y/o con efectos a la salud. • Múltiples MTI	• Una fatalidad • Estado vegetal / incapacidad permanente y/o con efectos a la salud.	• Múltiples fatalidades. • Múltiples casos de lesiones permanentes incapacitantes y/o con efectos a la salud.

Fuente. Elaboración propia, basada DS N°024-2016-EM

Dicha tabla será utilizada para determinar la severidad de un riesgo para asignar un valor al daño final después de implementar controles.

2.3.4. Nivel de riesgo residual

Aplicando estos conceptos se espera obtener el nivel de riesgo residual, conociendo los criterios de la tabla de probabilidad, donde la probabilidad es el valor cuantitativo asignado de que ocurra un riesgo ante una exposición al peligro (Ver tabla 3).

Tabla 3:

Probabilidad de ocurrencia del riesgo

NIVEL	E -MUY RARO	D - IMPROBABLE	C - POSIBLE	B – PROBABLE	A – CASI CERTERO
PROBABILIDAD	Muy improbable de que ocurra o podría ocurrir al menos una vez cada 10 años a mas	Podría ocurrir al menos una vez al año	Podría ocurrir al menos una vez al mes	Puede ocurrir al menos una vez a la semana	Puede ocurrir al menos una vez al día

Fuente. Elaboración propia, basada DS N°024-2016-EM

2.3.5. Estudio de accidentes eléctricos

Los accidentes eléctricos desde una lesión grave o hasta la muerte de los trabajadores, son el resultado de una inadecuada

administración del riesgo, donde implicó establecer ambientes eléctricamente seguros.

Los conceptos en el campo de seguridad eléctrica enfocan a establecer estrategias de reducción de accidentes para los fenómenos eléctricos ya identificados, arco y choque eléctrico, desarrollando e implementando sistemas, controles, parámetros que permitan describir practicas concretas para realizar trabajos asociados directamente con fuentes de energía eléctrica.

2.3.6. Seguridad eléctrica - NFPA 70E – IEEE1584.

A continuación, la *National Fire Protection Association 70E / Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo NFPA 70E* (2012), define en el artículo 105.2 al propósito, el cual es proporcionar la seguridad de los empleados con respecto a los riesgos eléctricos en el lugar de trabajo, donde señala el anexo “K” (de la norma) los riesgos de la electricidad “Características Generales de Peligros Eléctricos”.

En el anexo K (norma NFPA 70E) señala las categorías de peligros / Riesgos eléctricos: Choque Eléctrico, Arco eléctrico el cual se divide en (Relámpago de Arco y Ráfaga de Arco).

En el artículo 90.1, señala el propósito de esta norma, el cual es proveer de forma práctica un área de trabajo segura a los trabajadores en lo relacionado a peligros que puedan suscitarse del uso de electricidad.

La organización de la norma está dividida en la introducción y tres capítulos. El capítulo 1 aplica en general a lo relacionado a prácticas seguras de trabajo; el Capítulo 3 suplementa o modifica al Capítulo 1 con requerimientos de seguridad para equipos especiales.

El Capítulo 2 aplica a requerimientos de seguridad en el mantenimiento de equipos e instalaciones eléctricas en lugares de trabajo, y los Anexos no son parte de los requerimientos del estándar, son incluidos como propósito informativo.

En el artículo 100 de la norma NFPA 70E señala algunos conceptos para poder entender el producto de estos riesgos eléctricos:

- Peligro Eléctrico: Una condición peligrosa tal que el contacto o la falla de equipos puede resultar en un choque eléctrico, quemadura de relámpago de arco, quemadura térmica, o ráfaga.

- Peligro de Choque: Una condición peligrosa asociada con la posible liberación de energía causada por el contacto o la aproximación a conductores o partes de circuitos eléctricos energizados.

- Peligro de Relámpago de Arco: Una condición peligrosa asociada con la liberación de energía causada por un arco eléctrico. El peligro de relámpago de arco puede existir cuando conductores eléctricos energizados o partes de circuitos estas expuestos o cuando están dentro de equipos en una condición cerrada o resguardada, dándose que una persona esta interactuando con el equipo de tal manera que pudiera causar un arco eléctrico. Bajo condiciones normales de operación, los equipos energizados cerrados que han sido instalados y mantenidos correctamente no están supuestos a plantear un peligro de relámpago de arco.

- Análisis de Peligro de Relámpago de Arco: Un estudio para investigar la exposición potencial de un trabajador a la energía de relámpago de arco, realizado con el propósito de prevención de heridas y la determinación de prácticas

seguras de trabajo, fronteras de protección contra relámpago de arco y los apropiados niveles de equipos de protección personal (EPP).

2.3.7. Fronteras de aproximación (Controles para arco y choque eléctrico).

En el anexo D.7 según la IEEE[1] Std. 1584, señala las limitaciones / parámetros de los métodos de cálculos, es decir se calcula la energía incidente y la frontera de protección al relámpago de arco para: 208 V a 15 kV; trifásico; 50 Hz a 60 Hz; corriente de corto circuito de 700 A a 106,000 A; y distancia entre conductores de 13 mm a 152 mm.

Para determinar la corriente de arco se tiene las siguientes consideraciones:

Para tensión nominal por debajo de 1 kV:

Ecuación 1

$$I_a = 10^{\begin{pmatrix} K+0.662Log(I_{bf})+0.0966*V+0.000526*G \\ +0.5588V*(\log(I_{bf}))-0.00304*G*\log(I_{bf}) \end{pmatrix}}$$

Dónde:

Ia	=	corriente de arco, kA
K	=	− 0,153 para arcos al aire libre; −0,097para arcos en caja
Ibf	=	corriente de cortocircuito kA
V	=	tensión del sistema, kV
G	=	espacio para conductores, mm

1 (Guide for Performing Arc Flash Calculations, 2002)

Para tensión nominal por encima de 1 kV:

Ecuación 2

$$LgI_a = 0.00402 + 0.9831\, LgI_{bf}$$

Para determinar la energía incidente a la distancia de trabajo, la ecuación obtenida empíricamente es:

Ecuación 3

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1.081 \log(I_a) + 0.0011G$$

Dónde:

En = energía incidente, normalizada para el tiempo y la distancia, J/cm2

k1 = −0,792 para arcos al aire libre

k1 = −0,555 para arcos en caja

k2 = 0 para sistemas sin conexión a tierra y sistemas con conexión a tierra de alta resistencia

k2 = −0,113 para sistemas con conexión a tierra

G = espacio para el conductor, mm

Utilizando los factores para equipos y claves de tensión en la tabla D.7.2 del anexo D de la norma NFPA 70E.

Se convierte de lo normalizado:

Ecuación 4

$$E = 4.184\, C_f E_n \left(\frac{t}{0.2}\right)\left(\frac{610}{D}\right)^x$$

Dónde:

E = energía incidente, J/cm2

Cf = factor de cálculo

Cf = 1,0 para tensiones por encima de 1 kV

Cf = 1,5 para tensiones de 1 kV o menos

En = energía incidente normalizada

t = tiempo del arco, s

x = exponente de distancia

D = distancia, mm, desde el arco hasta la persona (distancia de trabajo)

Para casos mayores a 15 kV (ecuación teórica) se tiene:

Ecuación 5

$$E = 2.142\ x\ 10^6\ VI_{bf}\left(\frac{t}{D^2}\right)$$

Dónde:

E = energía incidente, J/cm2

V = tensión del sistema, kV

Ibf = corriente de falla trifásica

t = tiempo del arco, s

D = distancia (mm) desde el arco hasta la persona (distancia de trabajo)

Luego se procede a hallar la frontera de protección de arco obtenida empíricamente:

Ecuación 6

$$D_B = \left(4.182\ x\ C_f\ x\ E_n\ x\ \left(\frac{t}{0.2}\right) x\ \left(\frac{610^x}{E_b}\right)\right)^{\frac{1}{x}}$$

Dónde:

DB = distancia (mm) de la frontera de relámpago de arco desde el punto del arco

Cf = factor de cálculo

Cf = 1,0 para tensiones por encima de 1 kV

Cf = 1,5 para tensiones de 1 kV o menos

En = energía incidente normalizada

x = exponente de distancia

t = tiempo, s

EB = energía incidente en J/cm2 a la distancia de la frontera de relámpago de arco

Y para la ecuación obtenida teóricamente:

Ecuación 7

$$D_B = \sqrt{2.142\ x\ 10^6 V I_{bf} \frac{t}{E_B}}$$

Dónde:

DB = distancia (mm) de la frontera de relámpago de arco desde el punto del arco

t = tiempo, s

EB = energía incidente en J/cm2 a la distancia de la frontera de relámpago de arco

V = tensión del sistema, kV

Ibf = corriente de cortocircuito trifásico

Para determinar el paso de corriente a través del cuerpo por un choque eléctrico se utilizara la ley de Ohm, donde se establece que la diferencia de potencial (V) aparece entre los extremos de un conductor determinado, y es proporcional a la corriente (I) el cual circula en el conductor.

Con la ley de ohm se establece la noción de resistencia eléctrica (R) que es el factor de proporcionalidad que aparece en la relación entre V e I.

Ecuación 8

$$R = \frac{V}{I}$$

Dónde:

R = Resistencia, Ω

V = Voltios, V

I = Intensidad de corriente, A

2.3.8. Candado / etiqueta.

En el anexo G según NFPA 70E, señala que el candado es el método preferido para controlar la exposición del personal a los peligros de la energía eléctrica. Etiqueta es un método alternativo que está a disposición de los empleadores. Para ayudar a los empleadores a desarrollar el procedimiento que cumpla la exigencia del artículo 120 de NFPA 70E.

En el artículo 120 de la NFPA 70E, señala el proceso para obtener una condición de trabajo eléctricamente segura, cuando se realice de acuerdo con los procedimientos del 120.2 y se verifique mediante el siguiente procedimiento:

- Determinar todas las posibles fuentes de suministro de energía eléctrica al equipo específico. Revise los aplicables planos actualizados, diagramas y etiquetas de identificación.
- Después de apropiadamente interrumpir la corriente de carga, abrir el (los) dispositivos de desconexión para cada fuente.
- Siempre que sea posible, verificar visualmente que todas las cuchillas de los dispositivos de desconexión estén completamente abiertas o que los interruptores automáticos extraíbles se encuentren en la posición de desconexión total.
- Instalar los dispositivos candado / etiqueta de acuerdo con la política documentada y establecida.

- Utilice un detector de tensión con el adecuado valor nominal de tensión para probar cada conductor de fase o parte de circuito para comprobar que se encuentra desenergizados. Probar cada conductor de fase o parte de circuito tanto fase a fase como fase a tierra. Antes y después de cada prueba, verificar que el detector de tensión esté operando satisfactoriamente.

- Cuando exista la posibilidad de tensiones inducidas o energía eléctrica, poner a tierra los conductores de fase o partes de circuitos antes de tocarlos. Cuando razonablemente se pueda anticipar que los conductores de fase o partes de circuitos que se encuentran desenergizados pueden hacer contacto con otros energizados conductores o partes de circuitos, instalar dispositivos de conexión a tierra con valores nominales.

En el artículo 120.3 señala la puesta a tierra de protección temporal de equipos de la siguiente manera:

a) Ubicación, las tierras de protección temporal se deben localizar en tales lugares y dispuesta de tal manera que se evite que cualquier empleado este expuesto a los peligros de diferencias de potencial eléctrico.

b) Capacidad, las tierras de protección temporal deben ser capaces de conducir la máxima corriente de falla que pueda fluir en el punto de puesta a tierra durante el tiempo necesario para limpiar la falla.

c) Aprobación de equipos, la puesta a tierra de protección temporal debe cumplir las exigencias ASTM F855, Standard Specification for Temporary Protective Grounds to be Use don De-energized Electric Power Lines and Equipment, 1997.

d) Impedancia, las tierras de protección temporal deben tener una impedancia suficientemente baja para ocasionar la operación inmediata de los dispositivos de protección en caso de energización accidental de los conductores o partes de circuitos eléctricos.

2.4. Glosario de términos

a) **Choque eléctrico:** Estimulación repentina del sistema nervioso y contracción convulsiva de los músculos, provocada por una descarga de energía a través o sobre el cuerpo.

b) **Conductor:** Alambre o conjunto de alambres no aislados uno del otro, cuya función es transportar la corriente eléctrica. Puede ser desnudo, cubierto o aislado.

c) **Desenergenizado** (muerto o desconectado): Cuando ha sido desconectado de todas las fuentes de suministro por la operación del interruptor, apertura de tomas de carga, apertura de puentes u otra manera de suministro eléctrico; quedando el circuito al potencial de tierra.

d) **Dispositivo de bloqueo:** Dispositivo mecánico, eléctrico u otro, para evitar la operación bajo ciertas condiciones, del mecanismo de un equipo.

e) **Distancia mínima de acercamiento (seguridad):** La distancia más cercana a la que un empleado calificado se le permite acercarse a un objeto energizado o puesto a tierra, según corresponda al método de trabajo utilizado.

f) **Electrocución:** Choque eléctrico que produce una fatalidad.

g) **Energizado (vivo):** Eléctricamente conectado a una diferencia de potencial o eléctricamente cargado de modo que tenga un potencial contra tierra.

h) **Energía eléctrica:** Magnitud de un suministro de energía eléctrica, expresada en kilowatt hora.

i) **Fronteras de aproximación:** Es la distancia segura de aproximación a los conductores o partes de circuitos eléctricos energizados expuestos, incluyendo el objeto conductivo más largo que se esté manipulando.

j) **Peligro:** Fuente o situación que tiene un potencial de producir un daño a la seguridad, salud, el medio ambiente, a la comunidad, a la propiedad o una combinación de estos.

k) **Personal calificado:** Es la persona que tiene las destrezas, y el conocimiento relacionado con la construcción, y operación del equipo de las instalaciones eléctricas, y ha recibido entrenamiento de seguridad para reconocer y evitar los riesgos relacionados.

l) **Potencial máximo de consecuencia:** La verosímil consecuencia del peor escenario donde todos los controles del riesgo son asumidos ineficaces o inexistentes.

m) **Ráfaga de arco:** Las elevadas temperaturas del arco causan la expansión explosiva tanto del aire circundante como del metal que se encuentren en la trayectoria del arco.

n) **Relámpago de arco:** Cuando la corriente eléctrica pasa, a través de aire, entre conductores no puestos a tierra o entre conductores no puestos a tierra y conductores puestos a tierra, la temperatura puede llegar a 20,000°C.

o) **Riesgo:** Es la combinación de probabilidad y severidad reflejados en la posibilidad de que un peligro cause pérdida o daño a las personas, a los equipos, a los procesos y/o al ambiente de trabajo.

p) **Riesgo eléctrico:** Es la probabilidad de ocurrencia de un contacto directo o indirecto con una instalación eléctrica, que pueda causar daño personal o material, y/o interrupción de procesos. Incluye la exposición a arcos eléctricos o relámpagos de arco.

q) **Seguridad eléctrica:** El reconocimiento de los peligros asociados con el uso de la energía eléctrica y la toma de precauciones para que los peligros no causen heridas o muerte.

r) **Tensión eléctrica alta:** Es la tensión eléctrica de transmisión mayor de 30 kilovoltios (30 kV).

s) **Tensión eléctrica baja:** Es la tensión eléctrica de utilización menor de 1 kilovoltio (mil voltios = 1 kV).

t) **Tensión eléctrica media:** Es la tensión de distribución comprendida entre 1 kV y 30 kV.

u) **Trabajador calificado:** Persona con formación profesional y experiencia que lo hacen capaz de evitar peligros y evitar los riesgos que podría generar la electricidad.

v) **Trabajador autorizado:** Aquella persona debidamente entrenada y que tiene conocimiento y pericia en la ejecución de los trabajos propios del sector y que ha sido autorizado por su jefatura correspondiente.

w) Corriente eléctrica: O intensidad eléctrica, es el flujo de carga eléctrica (electrones) por unidad de tiempo que recorre un material conductivo.

x) Resistencia: Se denomina resistencia eléctrica a la oposición al flujo de electrones al moverse a través de un conductor.

y) **Impedancia:** Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción de flujo de una corriente eléctrica alterna, equivalente a la resistencia efectiva cuando la corriente es continua.

III. CAPÍTULO 3: HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis General

Existe una relación significativa donde las condiciones de trabajo y un análisis de riesgos eléctricos permitan que se reduzcan accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

3.2. Hipótesis especificas

1. La relación del valor nominal de un arco eléctrico, aportaría con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.
2. La relación de la intensidad de un choque eléctrico, aportaría con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

3.3 Identificación de Variables

3.3.1. Variable Independiente

Optimización de condiciones de trabajo en base a un análisis de riesgos eléctricos

Dimensiones:

- Análisis de arco eléctrico.
- Análisis de choque eléctrico.

Indicadores:

- Valor de cortocircuito.
- Energía incidente.
- Nivel de tensión.
- Intensidad de corriente.
- Nivel de resistencia (Ohm).

3.3.2. Variable Dependiente

Reducción de accidentes eléctricos.

Dimensión:

- Implementación de medidas de control para arco eléctrico.
- Implementación de medidas de control para choque eléctrico.

Indicadores:

- Valor nominal de un arco eléctrico.
- Elementos de equipos de protección personal.
- Implementación de dispositivos de protección.
- Porcentaje de personal capacitado.

3.4. Definición de Variables

3.4.1. Definición Conceptual de análisis de riesgos eléctricos

Los dos fenómenos que se asocian con la energía eléctrica son el arco y choque eléctrico, para este último es un efecto producido por el paso de la corriente eléctrica en una persona, donde son varios factores que determinan la envergadura del daño.

Y en cuanto al arco eléctrico o arco voltaico se presenta en la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmosfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre.

El choque de los iones genera un calor intenso en los electrodos, calentándose más el electrodo positivo debido a que los electrones que golpean contra el tienen mayor energía total.

El diagnóstico del análisis de riesgos eléctricos se definen por las dimensión de análisis de arco eléctrico con sus indicadores de valor de corto circuito, energía incidente y nivel de tensión; y la dimensión de análisis de choque eléctrico con sus indicadores de intensidad de corriente, nivel de tensión y nivel de resistencia (Ver cuadro 1).

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
Optimización de condiciones de trabajo en base a un análisis de riesgos eléctricos	Análisis de arco eléctrico	• Valor de cortocircuito. • Energía incidente. • Nivel de tensión.
	Análisis de choque eléctrico	• Intensidad de corriente. • Nivel de tensión. • Nivel de resistencia (Ohm).

Cuadro 1. **Variable Independiente**

Fuente. Elaboración Propia

3.4.2. Definición de mejora de condiciones de trabajo.

La mejora de las condiciones de trabajo abarca conceptos de diseño y procedimientos relacionados con la seguridad de los trabajadores, donde los empleadores deben asegurarse que se realice una evaluación de riesgos de peligros eléctricos durante el diseño y mantenimiento de los sistemas e instalaciones eléctricas.

Para poder considerar un entorno de trabajo eléctricamente seguro se debe de mejorar la capacidad de eliminación del peligro o reducción del riesgo al evaluar dos factores:

- Reducir la probabilidad del riesgo eléctrico.
- Reducir la severidad del riesgo eléctrico.

Se plantea 4 métodos para poder mejorar las condiciones de trabajo, que se describen a continuación:

Método 1; Análisis para calcular fallas de arco y proporcionar la distancia límite de protección de seguridad para los trabajadores,

asegurando que los trabajadores no se expongan dentro de un radio que podría generar daño en caso se genere un arco eléctrico.

Método 2; Análisis del choque eléctrico, como varia la intensidad de corriente contra la oposición o resistencia que un cuerpo o una condición puede generar; y la evaluación de las distancias o fronteras de seguridad (Limite, Restringida y Prohibida) para personal calificado y no calificado.

Método 3; Sistema de mitigación de relámpago de arco, se genera al crear un sistema alterno de paso de corriente de baja impedancia dirigiéndolo a un compartimento alterno controlado, transfiriendo toda la energía en una dirección donde no se exponga al trabajador.

Método 4; Sistema de dispositivos de protección limitador de corriente, un sistema convencional cuenta con un relé de protección que manda señal a un interruptor para abrir un circuito debido a una falla de corriente, en este caso se desea implementar un sistema con un relé con sensores de luz para emitir una señal aún más veloz al interruptor y así evitar la generación de un arco eléctrico (la señal que se emitiría deberá ser menor de 6 ciclos).

Finalmente se propone un procedimiento de evaluación de riesgos para optimizar la reducción del riesgo, incluyendo una secuencia de pasos para poder identificar que tarea se considera eléctricamente peligrosa y de esta forma que el trabajador adopte las medidas necesarias para realizar la tarea a un nivel tan bajo sea posible del riesgo.

3.4.3. Definición Operativa de Reducción de riesgos por accidentes eléctricos

Los accidentes suceden por condiciones o acciones que llegan a exponer a los trabajadores a salir lesionados, entonces la reducción de los accidentes eléctricos se define como la mejora

de las condiciones de un entorno de trabajo eléctricamente seguro y de la percepción de las personas.

Es decir si se evalúa la accidentabilidad como un indicador, se dice que los actos y las condiciones sub estándares como la probabilidad y la consecuencia son directamente proporcional (Accidentabilidad = $Probabilidad_{Acto\text{-}CondiciónSubestandar}$ x $Severidad_{Acto\text{-}CondiciónSubestandar}$), entonces si lo que se desea es la reducción de accidentes se deberá de minimizar la probabilidad y la severidad de los riesgos identificados.

Al implementar los métodos descritos en el punto 3.4.2. Definición de mejora de condiciones de trabajo, la teoría indica que directamente se reduce los accidentes eléctricos significativamente.

Las dimensiones e indicadores para las variables de reducción de accidentes eléctricos se muestran en el cuadro 2:

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
Reducción de accidentes eléctricos	Implementación de medidas de control para arco eléctrico	• Valor nominal de un arco eléctrico. • Porcentaje de personal capacitado. • Implementación de dispositivos de protección. • Elementos de equipos de protección personal.
	Implementación de medidas de control para choque eléctrico	• Implementación de dispositivos de protección. • Porcentaje de personal capacitado. • Elementos de equipos de protección personal.

Cuadro 2: **Variable Dependiente**

Fuente. Elaboración Propia

IV. CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1. Tipo y Diseño de Investigación

4.1.1.1. Tipo de Investigación

Por las características de la investigación esta es de tipo cuantitativa (Rodríguez, 2008), donde se realizó mediciones numéricas y reportes de lo que sucedió para el detalle en la información de la problemática planteada.

Por otro lado se tiene un nivel de investigación explicativa (Sánchez y Reyes, 2006), debido a que tiene una relación causal, es decir no solo persigue describir o acercarse a un problema, sino se intenta encontrar las causas del mismo.

4.1.2. Diseño de Investigación

El diseño, según Hernández (2014), es Cuasi - Experimental y Longitudinal.

Se considera longitudinal porque el tiempo es determinante para la relación causa – efecto y la comparación de datos observados y analizados puede hacerse durante algunos años.

También se considera cuasi - experimental porque se estudiará las relaciones de causalidad, con la finalidad de poder controlar los fenómenos mencionados en el planteamiento de la problemática.

A continuación, se muestra la figura 4 un diagrama de bloques del proceso de investigación:

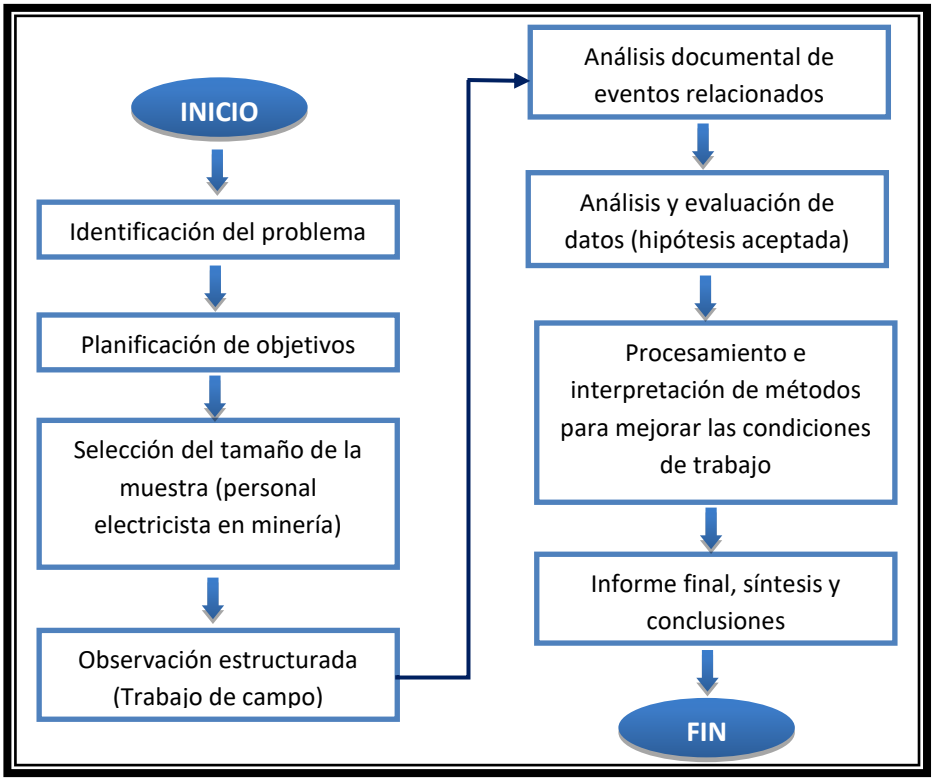

Figura 4. **Proceso de investigación**

Fuente. Elaboración propia.

4.2. Unidad de Análisis

La unidad de análisis corresponde a los trabajadores del área de mantenimiento eléctrico en minería, donde se va a desarrollar la medición, que es objeto de interés en la investigación.

4.3. Tamaño de la muestra

Con el propósito de definir el tamaño ideal de la muestra se ha optado por utilizar un tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando a 10 trabajadores electricistas; debido a que las unidades están disponibles y son fáciles de localizar y tienen un carácter de representatividad de la población que se desea analizar. (Lopez y Fachelli, 2015)

4.4. Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas a utilizar en la investigación serán las entrevistas, observación y análisis de datos o investigación documental.

La *entrevista,* se utilizará como instrumento la interacción directa entre personal de mantenimiento.

La *Observación*, se utilizara como instrumento la observación directa estructurada, ya que para el proyecto se ha definido el problema general y sus objetivos.

El *análisis documental*, se utilizará toda fuente como data secundaria como libros, investigaciones anteriores, informes, reportes, guías y manuales, documentos electrónicos, páginas web relacionadas con el tema de investigación, requisitos para la implementación, normas legales nacionales e internacionales, entre otros.

4.5. Criterios de evaluación en la investigación en campo

La observación será de forma directa y estructurada con el participante, utilizando las siguientes herramientas:

- Guía de observación (estructurada).
- Lista de frecuencia.
- Lista de cotejo o de chequeo.
- Registro anecdótico.
- Diario de campo.

Ya conociendo las herramientas para el trabajo en campo, ahora se debe plantear los criterios de evaluación (Ver cuadro 3):

Cantidad de electricistas evaluados	Criterios de evaluación
10	Distancia al cruzar la frontera menos de 3 metros (m)
10	Nivel de Daño por exposición a un arco eléctrico (amperios)
10	Nivel de Daño por exposición a un choque eléctrico (voltios)
10	Conocimiento del Procedimiento (%)
10	Nivel protección para arco eléctrico (%)

10	Nivel protección para choque eléctrico (%)
10	Condiciones sub estadales - arco eléctrico (Unid)
10	Condiciones sub estándares - choque eléctrico (Unid)
10	Acto sub estándares - arco eléctrico (Unid)
10	Acto sub estándares - choque eléctrico (Unid)

Cuadro 3. **Criterios de Evaluación**

Fuente. Elaboración Propia

4.6. Análisis e interpretación de la información

La información recabada será organizada mediante un proceso de tabulación; luego la data será ingresada a una hoja de Microsoft Excel para poder ser procesadas.

Posteriormente las calificaciones serán ingresadas al programa estadístico computarizado (SPSS Ver. 21 para Windows).

El "tratamiento de los datos" se efectuará aplicando el análisis de correlación producto-momento de Pearson asumiendo un nivel de significación del 0.05 para determinar el nivel de asociación entre las variables consideradas. Se elaboraron los gráficos respectivos y los análisis correspondientes.

4.7. Confiabilidad

Se halló un Alfa de Cronbach de 0.859

Reliability Statistics
Cronbach's Alpha: 0,859
N of Items: 2

Cuadro 4. **Alfa de Cronbach**

Fuente. Elaboración Propia SPSS21.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

5.1.1. Contraste de hipótesis

5.1.1.1. Planteo de hipótesis general

Ho: la relación de un análisis de riesgos eléctricos y las condiciones de trabajo, no influyen a reducir los accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

Ha: la relación de un análisis de riesgos eléctricos y las condiciones de trabajo, influyen a reducir los accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

5.1.1.2. Criterio teórico de contraste de hipótesis general

El criterio utilizado para el valor p = 0.05, cuando el obtenga el valor p $\geq$ 0.05, se aceptará como respuesta válida Ho. Pero si se obtiene el valor p $\leq$ 0.05, se aceptará como respuesta válida Ha.

5.1.1.3. Estadística de contraste de hipótesis general

En base al punto 4.6 Criterios de evaluación en la investigación en campo se recopilo data primaria, siendo los modelos de regresión lineal y correlación de Pearson utilizados para la estadística de contraste de hipótesis, y aplicando el software SPSS21 se identificó una correlación conjunta de (R = 0.885), y un valor p = 0.005. (Ver tabla 4).

Tabla 4:

Estadística de contraste de hipótesis general

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,885[a]	,782	,720	,22518	,782	12,585	2	7	,005

Fuente. Elaboración propia SPSS21. a. Predictors: (Constant), A_choque, A_arco

5.1.1.4. Interpretación

El valor p = 0.005 < 0.05, entonces, según el criterio teórico, se acepta existe una relación significativa donde las condiciones de trabajo y el análisis de riesgos eléctricos influyen reduciendo los accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

5.1.1.5. Planteo de hipótesis especifica 1

Ho: La relación del valor nominal de un arco eléctrico, no influye con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

Ha: La relación del valor nominal de un arco eléctrico, influye con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

5.1.1.6. Criterio teórico de contraste de hipótesis especifica

El criterio utilizado para el valor p = 0.05, cuando el obtenga el valor p $\geq$ 0.05, se aceptará como respuesta válida Ho. Pero si se obtiene el valor p $\leq$ 0.05, se aceptará como respuesta válida Ha.

5.1.1.7. Estadística de contraste de hipótesis especifica 1

Los modelos de regresión lineal y correlación de Pearson fueron utilizados para la estadística de contraste de hipótesis, y se identificó una correlación

conjunta de (R = 0.646), y un valor p = 0.022. (Ver tabla 5).

Tabla 5:

Estadística contraste de hipótesis especifica1

		A_arco
Pearson Correlation	REDUC_AE	,646
Sig. (1-tailed)	REDUC _AE	,022
N	REDUC _AE	10

Fuente. Elaboracion propia SPSS 21

5.1.1.8. Interpretación

El valor p = 0.022 < 0.05, entonces, según el criterio teórico, se acepta que la relación del valor nominal de un arco eléctrico, influye con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

5.1.1.9. Planteo de hipótesis especifica 2

Ho: La relación de la intensidad de un choque eléctrico, no influye con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

Ha: La relación de la intensidad de un choque eléctrico, influye con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

5.1.1.10. Criterio teórico de contraste de hipótesis especifica

El criterio utilizado para el valor p = 0.05, cuando el obtenga el valor p $\geq$ 0.05, se aceptará como respuesta válida Ho. Pero si se obtiene el valor p $\leq$ 0.05, se aceptará como respuesta válida Ha.

5.1.1.11. Estadística de contraste de hipótesis especifica 2

Los modelos de regresión lineal y correlación de Pearson fueron utilizados para la estadística de

contraste de hipótesis, y se identificó una correlación conjunta de (R = 0.878), y un valor p = 0.000 (Ver Tabla 6):

Tabla 6:

Estadística contraste de hipótesis especifica 2

		A_choque
Pearson Correlation	REDUC_AE	,878
Sig. (1-tailed)	REDUC_AE	,000
N	REDUC_AE	10

Fuente. Elaboración propia SPSS 21

5.1.1.12. Interpretación

El valor p = 0.000 < 0.05, entonces, según el criterio teórico, se acepta que la relación de la intensidad de un choque eléctrico, influye con la reducción de accidentes eléctricos en el sector minero en la Ciudad de Cusco año 2019.

5.1.2. Evaluación y discusión de resultados

5.1.2.1. Modelo de regresión y correlación

Para evaluar los resultados de la investigación se utilizó el método del contraste de hipótesis utilizando el Modelo de Regresión se halló una relación significativa de estas variables (p < 0.05), y para determinar la influencia de las dimensiones sobre la variable dependiente, se utilizó el análisis de la distribución Beta. Se identificó una correlación conjunta de 0.885 (Ver tabla 7):

Tabla 7:

Modelo de regresión y correlación

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df 1	df 2	Sig. F Change
1	,885[a]	,782	,720	,22518	,782	12,585	2	7	,005

Fuente. Elaboración propia SPSS21. *a. Predictors: (Constant), A_choque, A_arco*

5.1.2.2. Distribución Beta

Aparte de calcular la correlación conjunta y las correlaciones parciales, se identifican las variables o dimensiones que influyen más o menos a la variable criterio o variable dependiente.

Se halló, mediante el análisis de la distribución Beta, que la dimensión que más influye ante la reducción de accidentes por energía eléctrica es el análisis de choque eléctrico (Beta = 1.022), seguido del análisis de arco eléctrico (Beta = - 0.178). (Ver tabla 8):

Tabla 8:

Distribución Beta

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,951	,251		3,786	,007
	A_arco	-,131	,220	-,178	-,596	,570
	A_choque	,556	,162	1,022	3,425	,011
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,389	,558		-,698	,508
	control_arco	,581	,441	,303	1,316	,230
	control_choque	,710	,249	,657	2,853	,025

Fuente. Elaboración propia SPSS21.

5.1.2.3. Discusión de resultados

El contraste de hipótesis realizado, se evidencia en el Cuadro Nº 5, y en la Figura N° 05.

INTERVALO DE CORRELACIÓN DE PEARSON	VALORACIÓN
De 0.000 a 0.20	BAJA INFLUENCIA
De 0.201 a 0.40	MODERADO BAJO
De 0.401 a 0.60	MODERADO MEDIO
De 0.601 a 0.80	MODERADO ALTO
De 0.801 a 1.00	ALTA INFLUENCIA

Cuadro 5. **Valoración de intervalos de correlación de PEARSON**

Fuente. Elaboración Propia

Influencia de los análisis de riesgos eléctricos con respecto a la reducción de accidentes eléctricos.

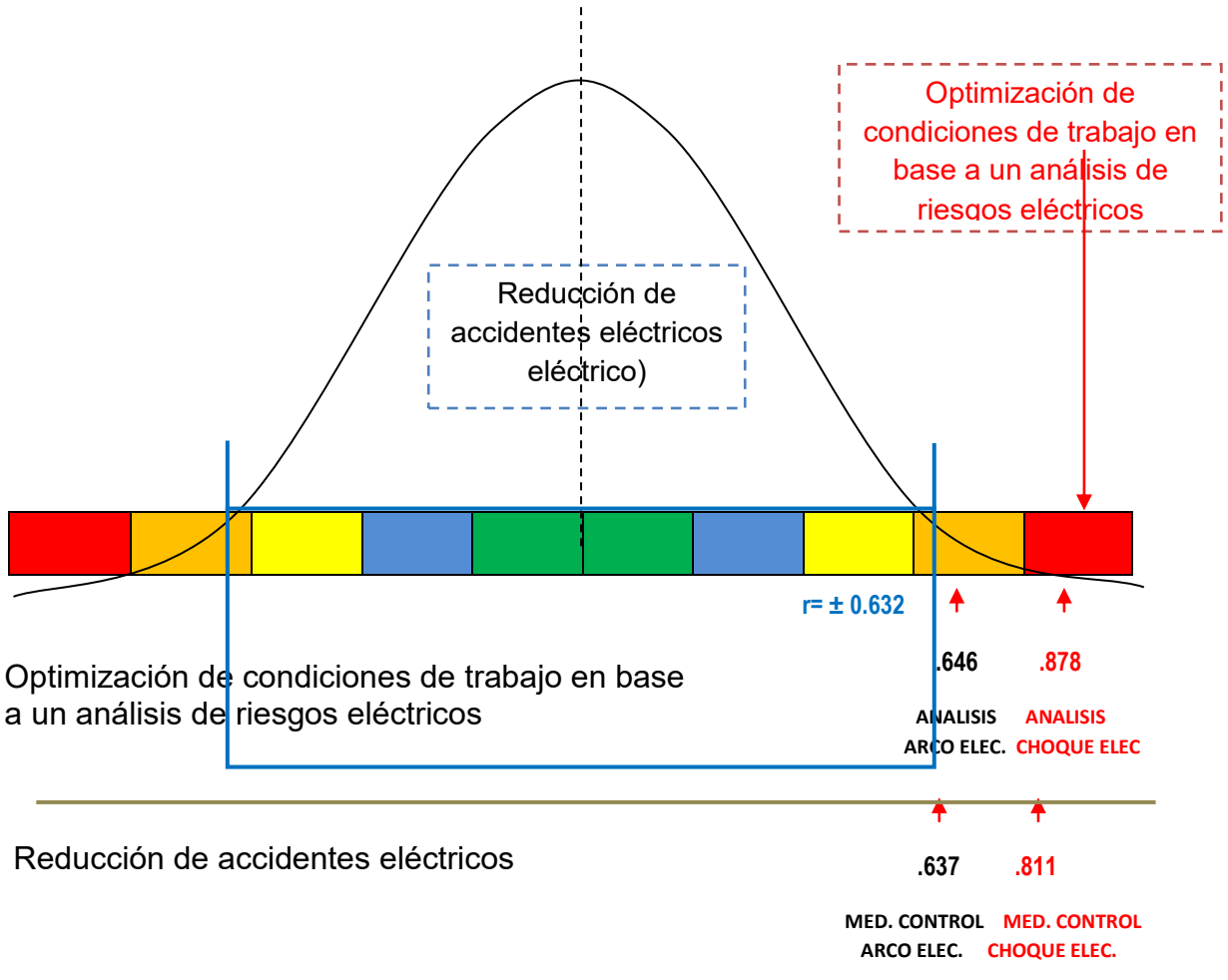

Figura 5. **Correlación de PEARSON**

Fuente. Elaboración propia SPSS21

Los resultados evidencian la influencia por la Optimización de condiciones de trabajo en base a un análisis de riesgos eléctricos impacta directamente ante la Reducción de accidentes eléctricos, aplicando mejoras para evitar la materialización de estos riesgos conocidos como arco y choque eléctrico.

El análisis de Choque Eléctrico, se debe realizar para diversas actividades, donde el trabajador al exponerse podría llegar hasta un accidente mortal, es por esto que al realizar este análisis se evitaría que los trabajadores se expongan ante este riesgo y se estaría prevaleciendo según la pirámide de Maslow la necesidad de seguridad.

De igual manera, el análisis de Arco Eléctrico, se realiza con el fin de evitar el producto de una serie de eventos no deseados que podrían terminar en fatalidad.

Es decir, al aplicar estas dos herramientas de gestión, tanto la consecuencia como el nivel de probabilidad disminuyen significativamente y por lo tanto un accidente ya sea por arco o choque eléctrico en caso llegue a suceder, los daños en la persona serían menores o insignificantes. Y por otro lado si se aplican de forma óptima las medidas de control, es muy raro o poco probable que este tipo de fenómenos se presente.

5.1.3. Sistema de Gestión en Seguridad Eléctrica, Análisis de Riesgo por Arco Eléctrico

Para realizar el análisis de riesgo por arco eléctrico existen varios métodos o normas, cada uno de ellos tiene sus limitaciones, se procede a analizar cada uno de ellos.

NFPA 70E:

Este método requiere menos tiempo y sirve mucho cuando no se tienen información completa de los parámetros del sistema

eléctrico que se pretende evaluar. Este método es muy general, por lo tanto es menos precioso. Se parte desde el peor de los casos, que es cuando la impedancia de falla es igual a cero (cortocircuito), esto es válido para sistemas con voltajes por encima de 600 voltios y al aire libre.

Las ecuaciones utilizadas en este método para el cálculo de las distancias de aproximación segura, están basadas en el método de Lee. Este método solo asume un rango de corrientes y tiempos de despejes de falla, adicionalmente no incluye una forma para encontrar las corrientes de falla por arco eléctrico y una de las mayores limitantes es que no considera el arco eléctrico en celdas o tableros encerrados.

El método define la cantidad de energía incidente en el sitio de trabajo, las distancias o fronteras de protección.

Las fronteras tanto para choque y arco eléctrico son 4 (Ver figura 6) y se señalan a continuación:

- Frontera de protección contra arco, Flash Protection Boundary (FPB).
- Frontera de aproximación limitada, Limited Approach Boundary (LAB).
- Frontera de aproximación restringida, Restricted Approach Boundary (RAB).
- Frontera de aproximación prohibida, Prohibited Approach Boundary (PAB).

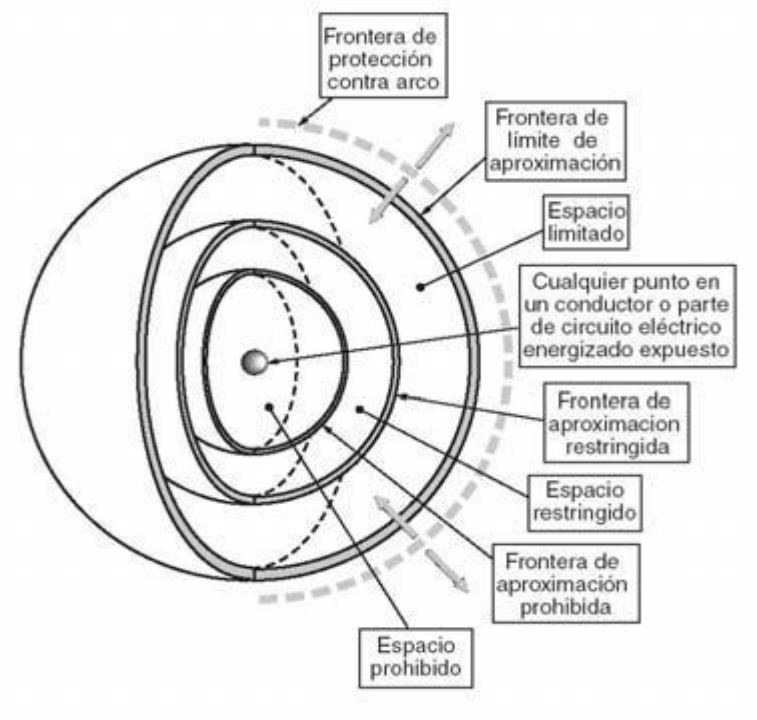

Figura 6. **Fronteras de Protección**
Fuente: Comité Técnico de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. (2012). Norma para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo. NFPA 70E, Pag.59.

IEEE 1584

A diferencia de la NFPA contiene métodos de cálculos más profundos y complejos, los cuales permiten un mayor análisis para encontrar las fallas de arco eléctrico tanto en sistemas monofásico como en sistemas trifásicos, incluyendo en recintos cerrados.

Las ecuaciones proporcionan las distancias límite de protección para aquel personal sin ningún tipo de elemento de protección personal y la cantidad de energía incidente presente en el lugar de trabajo para personal calificado que trabaje cerca a equipos energizados.

Las ecuaciones utilizadas están respaldadas por múltiples pruebas de laboratorio que las validan. Para la utilización adecuada de esta guía se necesita una evaluación previa del

lugar; mayor información de sistema a analizar, como un estudio previo de cortocircuito para tener a la mano la información de los niveles de corriente de cortocircuito en todos los puntos de interés; un análisis de la coordinación de protecciones, que indique los tiempos de despejes de fallas de los dispositivos de protección aguas arribas, tipos de interruptores y demás.

Para realizar un análisis de riesgo por arco eléctrico con una de las dos metodologías expuestas anteriormente, se necesita tener en cuenta la siguiente información del sistema eléctrico que se pretende analizar:

- Disponer de un diagrama unifilar actualizado de todo el sistema eléctrico que se pretende analizar.
- Recolectar en campo los tipo de dispositivos de protección que se poseen (Interruptores, seccionadores, fusibles), tomar lo datos de corrientes nominales, de disparo y su máxima capacidad de corrientes de cortocircuito que puede soportar.
- También recolectar los tipos de cables que se utilizan y sus distancias desde el punto de alimentación hasta el lugar de la carga. Esto ayuda a ser mucho más precisos en cuanto a las corrientes de cortocircuito.
- Si se desea tener un análisis preciso en cada punto, debe tener disponible cada carga que está conectada al sistema, de lo contrario, si tiene un estudio solo en las subestaciones, se tomarían las cargas como cargas equivalentes, por lo tanto el nivel de precisión del análisis se ve afectado.
- Con toda la información, se procede a realizar el análisis, ya sea por computador o manual, normalmente este tipo de estudios se realizan a través de algoritmos

computacionales, ya que sería demasiado extenso realizar un estudio de estas características de manera manual.

- Por ultimo con los resultados, se procede a implementar las etiquetas que serán ubicadas en cada punto del sistema eléctrico.

5.1.3.1. Causas del Arco Eléctrico.

El arco eléctrico es un evento, donde un material conductor se acerca a partes vivas expuestas. Hay dos factores principales que contribuyen a que puedan influir en la probabilidad de un arco eléctrico; fallas del equipo y por errores humanos.

La mayoría de los incidentes de arco probablemente son causados por errores humanos, es decir por movimientos físicos realizados en el equipo, como por ejemplo:

- Cierre y aperturas de interruptores.
- Apertura y cierre de puertas y cubiertas.
- Inserción y retiro de equipos.
- Instalación de equipo de prueba y tierras de seguridad.
- Mantenimiento y mediciones en el sistema.
- Entre otros.

De igual manera se tiene una probabilidad de contribución por parte de los equipos, como por ejemplo:

- Daños en el aislamiento que expone partes vivas.
- La corrosión o acumulación de residuos.
- Una instalación incorrecta.
- Sobrecarga de corriente.

- Transitorios de tensión.
- Entre otros.

5.1.3.2. Análisis de Arco Eléctrico en Sistemas Eléctricos.

En la actualidad la compañía está comprometida en la gestión de optimizar cada uno de sus procesos, tratando de reducir o en su efecto controlar perdidas más aun cuando las pérdidas generadas son por accidentes, falta de aplicación de normativas o por que no se cuenta con la información necesaria para la implantación de estas.

Por lo tanto el objetivo es de realizar una evaluación y poder proponer medidas de control a los riesgos eléctricos, sin dejar de considerar riesgos en paralelo, estableciendo métodos, formatos y referencias apegados al cumplimiento de la norma.

Para todo sistema en la industria minera se requiere para su operación de un sistema eléctrico robusto, confiable y seguro; el cual debe ser operado sin la necesidad de exponerse a riesgos eléctricos peligrosos.

Un arco eléctrico está compuesto en dos etapas, la primera es relámpago de arco, donde la exposición a este fenómeno se expresa en Cal/cm^2 y la segunda es la ráfaga de arco, fenómeno que se caracteriza por emitir ondas expansivas.

Un arco eléctrico se caracteriza por alcanzar elevadas temperaturas (pico de 25000°C – 4 a 5 la temperatura del sol), la energía del arco eléctrico llega a ionizar el aire liberando plasma y vapores de materiales conductores.

Este fenómeno se genera por cortocircuitos causados por contacto entre conductores (falta de aislamiento entre conductores), calentamiento del circuito, fallas de contactores para aperturar o cerrar circuitos, materiales o herramientas que caen en líneas energizadas, por aumento de tensión, por daños

en los equipos o por malas maniobras o malas prácticas de los equipos.

Los efectos y/o consecuencias que puede causar un arco eléctrico, pueden llegar a ser muy críticos, desde lesiones leves o graves (quemaduras), incrustaciones, daños auditivos, en la retina o pérdida de la vidas, adicional se tienen daños en las instalaciones.

En resumen, (Ver figura 7) los riesgos a los que se encuentran expuestas las personas, al presentarse una falla de arco, son:

- Altas temperaturas: estas se presentan cerca a la ocurrencia del arco eléctrico y puede causar quemaduras de hasta tercer grado a una distancia de 3 metros.
- Presion: el arco produce una onda de presión de hasta 0,3 MPa, que equivale a una presión de 30 T/m2, que podrían arrojar a una persona varios metros o quebrar costillas.
- Objetos: debido a las altas temperaturas y a la alta presión, un arco eléctrico puede contener metal fundido u objetos que se desprende de las celdas, los cuales al viajar a altas velocidades y presiones actúan como proyectiles.
- Sonido: el aumento súbito de presión en el momento en que se presenta el arco eléctrico, puede producir sonidos de hasta 140 dB, que puede producir danos graves en la audición.
- Vapores tóxicos: el humo librado y el material fundido, constituyen un gran peligro para las personas que se encuentren cerca, produciendo graves daños al sistema respiratorio.
- Radiaciones ultravioleta: el arco eléctrico produce una luz brillante y también emite rayos ultravioleta e infrarrojos

invisibles, los cuales pueden producir quemaduras en la piel y los ojos.

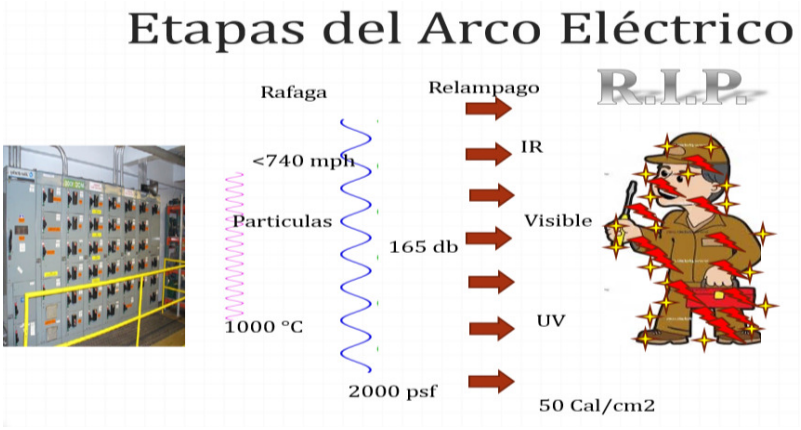

Figura 7. **Etapas del Arco Electrico**

Fuente. Elaboracion Propia.

Este fenómeno de arco eléctrico podría ser mortal para cualquier persona y costaría millones de dólares por cubrir tanto reparaciones afectadas como lesiones a la persona.

5.1.3.3. Calculo de arco eléctrico según IEEE 1584.

Los cálculos se realizaran considerando niveles de tensión para baja (480 VAC) y media (4.16kV) tensión, los cuales servirán como base para calcular las fronteras de aproximación.

Las ecuaciones empíricas son desarrolladas por la IEEE con un equipo de trabajo sobre arco eléctrico. Las siguientes ecuaciones son el resultado de pruebas y aplican bajo ciertas condiciones especiales. (Ver tabla 9).

Tabla 9:

Consideraciones a tomar para el uso de la norma IEEE 1584

PARAMETROS	RANGO DE APLICACIÓN
Sistema de voltaje (kV)	0,208 15 kV
Frecuencia (Hz)	50 60 Hz
Falla solida de corriente (kA)	0,7 106 kA
Espacio entre electrodos (mm)	13 152 Mm
Tipo de compartimento	Abierto, caja, MCC, panel, switchgear, cables.
Sistema de tierra	No tierra, tierra, alta resistencia a tierra.
Fases	3 fases

Fuente. Comité Técnico de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. (2012). Norma para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo. NFPA 70E, Pag.64

Primero se procede a realizar el cálculo de la corriente de arco.

Para este caso se está considerando un nivel de voltaje de 480 VAC y la corriente de arco es calculada por la ecuación 1 (Ver tabla 10):

Tabla 10:

Estimación de la Corriente de Arco

Ibf (kA)	**34,40**	**Corriente de falla trifásica a tierra (RMS)**
V (kV)	0,48	Sistema de voltaje
G (mm)	30,00	Distancia entre conductores
K cerrado	- 0,097	Configuración de compartimiento
Ia (kA) cerrado	17,96	Corriente de arco

Fuente. Elaboración propia.

Luego se procede con la estimación normalizada de la incidencia de energía (ecuación 3), la cual se basa en 0,2 segundos de duración y 610 mm de distancia del arco. (Ver tabla 11):

Tabla 11:

Estimación Normalizada de Energía Incidente

Ia (kA)	**17,96**	**Corriente de arco**
K1 cerrado	-0,555	Configuración de compartimiento
K2 D y alta resistencia	0	Sistemas en delta y alta resistencia
G (mm)	30,00	Distancia entre conductores
En (J/cm2)	6,82	

Fuente. Elaboración propia.

Para el tercer paso la estimación normalizada de la energía incidente es usada para obtener la energía incidente de una superficie normal dada a una distancia y tiempo con la ecuación 4. (Ver tabla 12):

Tabla 12:

Estimación de la Energía Incidente

Cf <1kV	**1,5**	**Factor de cálculo**
En (J/cm2)	6,82	Energía incidente
t (seg)	0,1	Tiempo de arco
D (mm)	609,6	Distancia de arco
x MCC y paneles < 1 kV	1,641	
En (J/cm2)	21,43	
En (cal/cm2)	5,12	Energía incidente

Fuente. Elaboración propia.

Para el cálculo de la energía incidente, se consideró la tabla Factores para equipos y clases de tensión de la norma internacional NFPA 70E. (Ver tabla 13):

Tabla 13:

Factores para Equipos y Clases de Tensión

Tipo de equipos	Separación típica de conductores (mm)	Factor de distancia X
MCC`s y tableros	25	1,641

Fuente. Comité Técnico de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. (2012). Norma para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo. NFPA 70E, Pag.65

El paso 4, se procederá a hallar los límites de protección del arco eléctrico, (Ver tabla 14), es decir las distancias en la que una persona sin equipo de protección personal puede exponerse a un arco eléctrico teniendo como consecuencia quemaduras de segundo grado, las cuales aún son curables.

Para ello se aplica la ecuación 6:

Tabla 14:

Límites de protección de arco

Cf <1kV	1.5	Factor de cálculo
En (J/cm2)	21.43	Energía incidente
t (seg)	0.1	Tiempo de arco
Ibf(kA)	34.40	Corriente de falla trifásica a tierra (RMS)
x MCC y paneles < 1 kV	1.641	
DB (mm)	917.84	

Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, se entiende por el primer estudio que para poder realizar un trabajo se obtuvo 609.6 mm de distancia para que una persona realiza un trabajo en un panel de 480 VAC y a una energía incidente de 5.12 Cal/cm^2 con un traje anti arco de categoría II.

Y se llegó a calcular una distancia de 918 mm de límite de protección para una persona no calificada ante un arco eléctrico.

Luego de realizar la evaluación para un sistema de baja tensión, ahora se procederá a realizar el mismo análisis para un sistema de media tensión.

Para este segundo caso (Ver tabla 15) se está considerando un nivel de voltaje de 4160 VAC, para 4 equipos y la corriente de arco es calculada por la ecuación 2:

Tabla 15:

Estimación de la Corriente de Arco

	52-01	**M1**	**M2**	**M3**	
Voltaje mayor a 1 kV		**0210-CRG-0001M1**	**0131-CPC-0001M1**	**0131-CPC-0002M1**	
Ibf(kA)	8.72	8.72	8.72	8.72	Corriente de falla trifásica a tierra (RMS)
V (kV)	4.16	4.16	4.16	4.16	Sistema de voltaje
G (mm)	104.00	104.00	104.00	104.00	Distancia entre conductores
K cerrado	- 0.097	- 0.097	- 0.097	- 0.097	Configuración de compartimiento
Ia (kA) cerrado	8.48	8.48	8.48	8.48	Corriente de arco

Fuente. Elaboración propia.

Para realizar la estimación normalizada de la incidencia de energía se utiliza la ecuación 3 (Ver tabla 16):

Tabla 16:

Estimación Normalizada de Energía Incidente

Ia (kA)	**8.48**	**8.48**	**8.48**	**8.48**	**Corriente de arco**
K1 cerrado	-0.555	-0.555	-0.555	-0.555	Configuración de compartimiento
K2 D y alta resistencia	0	0	0	0	Sistemas en delta y alta resistencia
G (mm)	104.00	104.00	104.00	104.00	Distancia entre conductores
En (J/cm2)	3.66	3.66	3.66	3.66	

Fuente. Elaboración propia.

Luego se procede a realizar la estimación de la energía incidente (Ver tabla 17) dando uso a la ecuación 4 y la distancia de trabajo considerando la tabla de distancias típicas de trabajo de la NFPA 70E.

Tabla 17:

Estimación de la Energía Incidente

Cf <1kV	**1**	**1**	**1**	**1**	**Factor de cálculo**
En (J/cm2)	3.66	3.66	3.66	3.66	Energía incidente
t (seg)	0.14	0.1	0.1	0.1	Tiempo de arco
D (mm)	910	910	910	910	Distancia de trabajo desde el arco
x Switchgear > 1 kV to 15 kV	0.973	0.973	0.973	0.973	
En (J/cm2)	7.26	5.19	5.19	5.19	
En (cal/cm2)	1.74	1.24	1.24	1.24	<------ Energía incidente

Fuente. Elaboración propia.

Y finalmente se procede a hallar los límites de protección del arco eléctrico mediante la ecuación 6. (Ver tabla 18):

Tabla 18:

Límites de protección de arco

Cf >1kV	**1**	**1**	**1**	**1**	**Factor de cálculo**
En (J/cm2)	7.26	5.19	5.19	5.19	Energía incidente normalizada
t (seg)	0.14	0.1	0.1	0.1	Tiempo de arco
Eb (J/cm2)	5.00	5.00	5.00	5.00	Energía incidente en el límite de destello de arco (1.2 cal/cm2)
x Switchgear > 1 kV to 15 kV	0.973	0.973	0.973	0.973	
DB (mm)	2,700.38	1,352.25	1,352.25	1,352.25	Límite de destello de arco (FPB)

Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, se entiende por el segundo estudio que para poder realizar un trabajo se obtuvo 910 mm de distancia para que una persona realiza un trabajo en un panel de 4.16 Kva y a una energía incidente de 1.74 y 1.24 Cal/cm^2 con un traje anti arco de categoría 0.

Y se llegó a calcular una distancia de 2700 mm de límite de protección para una persona no calificada ante un arco eléctrico.

Considerando los datos para los casos anteriores la máxima potencia de arco disponible durante un corto circuito está dada por:

Ecuación 8

$$\text{Potencia de Arco} = (\sqrt{3} \times I_{sc} \times V_{SYS})/2$$

Por lo tanto, si se desea ilustrar la idea, se considera los casos mencionados para conocer con cuanto de radiación un trabajador se estaría exponiendo.

Para el primer caso, se tiene una un sistema de 480 voltios y una corriente de corto circuito (corriente de falla) de 34.4 kA; entonces:

Pa = ($\sqrt{3}$ x 34400 x 480)/2

Pa = 14299811	Watts
14.3	MW

Utilizando las tablas para hallar el diámetro esférico del arco como se muestra a continuación, (Ver tabla 19):

Tabla 19:

Diámetro Esférico del Arco

Potencia de Arco MW	Área Superficie cm^2	Diámetro esférico cm
12.5	134.78	6.55
25	267.06	9.22

Fuente. ITS consultants.(2014) Seguridad Eléctrica alto voltaje en minería.

Por lo tanto al no encontrar este valor en la tabla se procede a interpolar:

Interpolación Diámetro esférico = 6.55 + ((14.3 – 12.5)/(25 – 12.5) x (9.22 – 6.55))

I_{DE} = 6.93 cm

Teniendo el diámetro, en el cuadro de temperatura en la piel se identifica la cantidad de temperatura a diferentes distancias. (Ver tabla 20):

Tabla 20:

Incremento de la temperatura en la piel

Incremento de la Temperatura en la Piel en 0.1 segundo ºC							
Diámetro esférico del arco		Distancia desde el centro					
Pulgadas	cm	20" 50.8 cm	24" 61 cm	30" 76.2 cm	36" 91.4 cm	60" 152 cm	120" 305 cm
2	5,08	137	96	61	43	16	4
2,73	**6,93**	**262,58**	**182,88**	**117,22**	**81,70**	**29,14**	**7,65**
3	7,62	309	215	138	96	34	9

Fuente. ITS consultants. (2014). Seguridad Eléctrica alto voltaje en minería.

Y en cuanto para el segundo caso se tiene un sistema de 4160 voltios y una corriente de corto circuito (corriente de falla) de 8.72 kA; entonces:

$Pa = (\sqrt{3} \times 8720 \times 4160)/2$

Pa = 31415245	watts
31.4	MW

Luego se procede a interpolar datos de la tabla 21.

Tabla 21:

Diámetro Esférico del Arco

Potencia de Arco MW	**Área Superficie cm^2**	**Diámetro esférico cm**
25	267.06	9.22
50	535.84	13.06

Fuente. ITS consultants. (2014). Seguridad Eléctrica alto voltaje en minería.

Interpolación Diámetro esférico = 9.22 + ((31.4 – 25)/(50 – 25) x (13.06 – 9.22))

I_{DE} = 10.21 cm

Teniendo el diámetro, se procede a identifica la cantidad de temperatura a diferentes distancias. (Ver tabla 22):

Tabla 22:

Incremento de la temperatura en la piel

Incremento de la Temperatura en la Piel en 0.1 segundo ºC							
Diámetro esférico del arco		Distancia desde el centro					
Pulgadas	cm	20" 50.8 cm	24" 61 cm	30" 76.2 cm	36" 91.4 cm	60" 152 cm	120" 305 cm
2	5,08	137	96	61	43	16	4
4,02	**10,21**	**484,07**	**336,13**	**216,38**	**149,95**	**52,32**	**14,09**
3	7,62	309	215	138	96	34	9

Fuente. ITS consultants. (2014). Seguridad Eléctrica alto voltaje en minería.

Por lo tanto, se interpreta que el primer caso tenía mayor intensidad en calorías que él según caso, y en cuanto a la radiación (temperatura) se observa que el segundo caso emite mayor temperatura, pudiendo provocar severos daños aún más que el primer caso.

5.1.3.4. Prevención del Arco Eléctrico.

La única forma segura de prevenir el arco eléctrico es desenergizando el equipo antes de comenzar el trabajo, y antes de intervenir el equipo se debe de comprobar que esté realmente sin tensión.

Aunque existen otros métodos para poder mitigar la severidad de este fenómeno, por ejemplo:

Sistema de mitigación de relámpago de arco, se genera al crear un sistema alterno de paso de corriente de baja impedancia dirigiéndolo a un compartimento alterno controlado, transfiriendo toda la energía en una dirección donde no se exponga al trabajador.

Es decir, cuando se presenta un circuito con baja impedancia el flujo de corriente tiene mayor tendencia a fluir por ese trayecto, ya que la ley de Ohm menciona que a menor resistencia aumentara la intensidad de corriente y de esta forma se lograra

direccionar la corriente de falla a un compartimento diseñado para soportar la liberación de la energía incidente y evitar daños a la persona.

Sistema de dispositivos de protección limitador de corriente, un sistema convencional cuenta con un relé de protección que manda señal a un interruptor para abrir un circuito debido a una falla de corriente, en este caso se desea implementar un sistema con un relé con sensores de luz para emitir una señal aún más veloz al interruptor y así evitar la generación de un arco eléctrico (la señal que se emitiría deberá ser menor de 6 ciclos).

Se conoce dispositivos que interactúan desde 3 hasta 5 ciclos, pero el factor a decidir si se genera una condición eléctricamente segura va ser el tiempo para activar los dispositivos de protección.

Hay que recordar que la electricidad circula en conductores de cobre, con el movimiento de electrones libres, mientras que los protones y neutrones se mantienen quietos, llegando a alcanzar una velocidad de 1 mm/s (0.001m/s).

Entonces muchos se preguntaran porque se cree que la corriente es veloz, simplemente porque los electrones libres que transfieren el flujo de corriente se encuentran por todo el circuito en una gran cantidad y en gran densidad, esta es la razón de la velocidad de la corriente y se puede decir que por tal fenómeno se acerca a la velocidad de la luz, pero aun no es igual, ya que la velocidad de la luz es mayor aun, teniendo una constante de 299 792 458 m/s.

En otras palabras, un relé de protección suele emitir una señal en 1 ciclo (0.016 seg) y los interruptores demoran entre 3 a 5 ciclos, si se realiza la suma de ambos dispositivos en el mejor

de los casos se tiene una respuesta de 4 ciclos, mientras que en el peor de los casos 6 ciclos.

Si se tuviera la respuesta con un sensor de luz es muy probable que se logre alcanzar hasta una respuesta de 2 ciclos llegando a alcanzar el tiempo necesario para poder salvar más de una vida.

En caso se requiera realizar algún trabajo expuesto a una fuente de energía activa, se tendrá que contar con una serie de controles, procedimientos, permisos y sumo cuidado para realizar el trabajo.

5.1.3.5. Frontera de Relámpago de Arco.

A continuación, se entiende como el límite de aproximación a una distancia de la fuente potencial de arco, dentro de la cual una persona puede recibir una quemadura de segundo grado si ocurriera un relámpago de arco eléctrico.

Un análisis de relámpago de arco debe determinar la frontera de seguridad para un relámpago de arco, es decir, la energía incidente y la distancia segura de trabajo y el EPP que las personas deben utilizar dentro de la frontera.

El análisis de riesgo de relámpago debe actualizarse cada vez que se haga una renovación o modificación importante. Debe ser revisado periódicamente, no excediendo los 5 años, para dar cuenta de cambios en el sistema eléctrico de distribución que pudiera afectar los resultados del análisis de riesgo de relámpago de arco.

El análisis debe tomar en consideración el diseño de los dispositivos de protección contra sobre corriente y sus tiempos de apertura, incluyendo su condición de mantenimiento.

La frontera de relámpago de arco para sistemas de 50 volts o más, debe ser igual a la distancia en que la energía incidente

equivale a 1.2 cal/cm^2, y se muestra para un sistema de 480 VAC la energía incidente de 5.12 cal/cm^2 como se muestra en la figura 8.



Figura 8. **Frontera de Protección contra Arco Eléctrico para 480 VAC**

Fuente. Elaboracion Propia.

Para un sistema de 4.16 kV se tiene calculada dos puntos de generación de arco eléctrico, el primer punto se tiene a un tiempo de 0.14 segundos 1.74 cal/cm^2; y para un tiempo de arco de 0,1 segundos, se tiene 1.24 cal/cm^2 como se muestra en la figura 9.



Figura 9. **Frontera de Protección contra Arco Eléctrico para 4.16 kVAC**

Fuente. Elaboración propia.

5.1.3.6. Nivel de Riesgo y Tipo de Elementos de Protección Personal a Utilizar.

La norma NFPA-70E, define 5 niveles de categoría de riesgo basado en el cálculo de la energía incidente y la distancia de trabajo, también sugiere los equipos de protección personal a utilizar en cada caso. (Ver cuadro 6):

	Sistemas Típicos de Vestimenta Protectora	
Categoría Peligro/ Riesgo	Descripción de la Ropa (# típico de capas)	Mínimo Nivel de Protección al Arco Requerido EPP (cal/cm2)
0	Materiales no fundentes, inflamables (p.e., algodón no tratado, lana, rayón o ceda, o combinaciones de estos materiales) con un peso de la tela mínimo de 4.5 oz/yd2	N/A (1.2)
1	Camisa y pantalón con nivel de protección al arco RLL u overol RLL con nivel de protección	4
2	Camisa y pantalón con nivel de protección al arco RLL u overol RLL con nivel de protección	8
3	**Camisas y pantalones RLL u Overol RLL, y Traje de protección contra relámpago de arco seleccionado para que el sistema de nivel de protección al arco cumpla con los requerimientos mínimos**	25
4	**Camisas y pantalones RLL u Overol RLL, y Traje de protección contra relámpago de arco seleccionado para que el sistema de nivel de protección al arco cumpla con los requerimientos mínimos**	40

Cuadro 6. **Sistemas Típicos de Vestimenta Protectora**

Fuente. Comité Técnico de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. (2012). Norma para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo. NFPA 70E, Pag.36

5.1.3.7. Etiquetas de Seguridad.

Luego de tener los niveles de riesgo y el tipo de elemento de protección personal, deberán poner esa información en el punto mediante unas etiquetas de seguridad, que contienen toda esta información y adicionalmente las distancias de aproximación segura, el nivel de voltaje de ese punto y el nombre del equipo. (Ver figuras 10 y 11).



Figura 10. **Etiqueta de seguridad para sistema de 480 V**

Fuente. Elaboración propia.



Figura 11. **Etiqueta de seguridad para sistema de 4.16 kV**

Fuente. Elaboración propia.

5.1.4. Sistema de Gestión en Seguridad Eléctrica, Análisis de Riesgo por Choque Eléctrico

Se denomina choque eléctrico a los trastornos que acontecen en el cuerpo humano cuando se expone al paso de una fuerza eléctrica natural (rayo) o artificial (corriente eléctrica) y que afectan especialmente a los tejidos musculares, vasculares y nervioso, sobre todo al sistema nervioso central.

El choque se produce cuando el contacto físico del cuerpo con un circuito eléctrico energizado, proporciona una vía para que la electricidad atraviese el cuerpo al hacer tierra.

La circulación de la corriente eléctrica por el cuerpo humando puede producir principalmente los siguientes efectos nocivos:

- Tetanización: movimiento incontrolado de los músculos debido a la acción de la corriente eléctrica, con pérdida de control generalmente de brazos y piernas.

- Asfixia: si el centro nervioso que regula la respiración se ve afectado por la corriente, puede llegar a producirse un paro respiratorio.

- Quemaduras: el pasaje de la corriente por el cuerpo humando es acompañado de disipación de calor por efecto joule, produciendo quemaduras internas y externas.

- Fibrilación ventricular: en cardiología se denomina “fibrilación” a una sucesión de contracciones rápidas y desordenadas de las fibras del miocardio, cuando la fibrilación afecta a los ventrículos es rápidamente mortal. En la mayoría de los accidentes eléctricos fatales, la muerte del afectado se produce por esta causa. La fibrilación ventricular se desencadena cuando una corriente de amplitud suficiente excita las fibras de los ventrículos durante la fracción del ciclo cardíaco en la que se produce la relajación del miocardio. Este período de relajación se denomina “período vulnerable” y abarca una fracción relativamente pequeña del ciclo cardíaco (entre un 10 y 20%).

- Efectos fisiológicos: tales como las contracciones musculares, dificultades de respiración, incremento en la presión arterial, perturbaciones en la formación y propagación de los impulsos en el corazón, incluida la

fibrilación auricular y paros cardíacos temporales. Estos efectos usualmente no son mortales y son reversibles.

5.1.4.1. Causas del Choque *Eléctrico.*

Los factores de una corriente eléctrica que influyen en la producción de un choque son:

- La fuerza eléctrica o voltaje: a mayor voltaje mayor choque.
- Intensidad de la corriente o amperaje: a mayor amperaje mayor choque.
- Tipo de corriente: alterna o directa. La alterna es más peligrosa que la directa porque produce tetanización muscular y sudación y quemaduras más que electrólisis de los tejidos. En cambio en la directa predomina la electrólisis sobre los otros efectos.

Otros factores que pueden modular un choque eléctrico son:

- La conductividad del organismo; es afectada por la humedad de la piel y la humedad existente en las superficies de contacto (piso, paredes, artefactos, etc.).Es decir a mayor humedad mayor conductividad.
- Duración del contacto con la fuente eléctrica o la superficie electrizada; a mayor contacto mayor choque.
- Vía de la corriente a través del organismo.
- Resistencia tisular; está en relación directa con el contenido de agua de los tejidos: el sistema vascular y los músculos son buenos conductores de la electricidad, mientras que los huesos, los nervios

periféricos y la piel seca, presentan mayor resistencia (malos conductores) al paso de la electricidad.

5.1.4.2. Análisis de Choque *Eléctrico en Sistemas Eléctricos.*

Cuando se habla del choque eléctrico, se hace referencia al riesgo de mayor conocimiento y sobre el cual se basa la mayoría de normas de seguridad.

El efecto que tiene la corriente sobre el cuerpo varía en cada caso, y el rango – efecto que se conoce por el paso de la corriente a través del cuerpo se muestra en la tabla 23:

Tabla 23:

Rango y Efecto de la Corriente

CORRIENTE	EFECTO
<1 mA	Normalmente es imperceptible
1 mA	Cosquilleo leve
5 mA	Se siente una leve descarga; indolora pero molesta. Las personas comunes pueden soltar. Reacciones involuntarias fuertes pueden ocasionar otras lesiones.
6 – 25 mA (mujeres) 9 – 30 mA (hombres)	Descarga dolorosa, pérdida del control muscular. Corriente que congela o el rango de "posibilidad de soltar". La persona no puede soltar el objeto, pero puede ser arrojada del circuito si se estimulan los músculos extensores.
50 – 150 mA	Dolor intenso, paro respiratorio (se detiene la respiración), fuertes contracciones musculares. La muerte es posible.
1 – 4.3 A	Se interrumpe el bombeo rítmico del corazón. Ocurre contracción muscular y daños nerviosos; muerte probable.
10 A	Ocurre paro cardiaco y quemaduras graves. Muerte altamente probable.

Fuente. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. (2009). NIOSH 70E, Pag.7.

Para la tabla 23 los valores promedios no indicaran los efectos específicos para cada persona, es decir, estos valores se basan en un contacto inicial de 1/10 de segundo, con una frecuencia de 60 Hertz que fluye desde las manos hasta los pies.

Aunque la corriente de choque no pase a través de un órgano vital, de todas formas puede generarse lesiones severas o la muerte por quemaduras internas (5 amperios o más) estas quemaduras pueden causar una muerte retardada debido a que son internas y de tercer grado.

Como se ha mencionado que la resistencia del cuerpo es un factor importante para poder determinar la cantidad de corriente que pasa a través del cuerpo, se va a señalar en la tabla 24 las variables de resistencia de la piel:

Tabla 24:

Variables de Resistencia de la Piel

CORRIENTE	RESISTENCIA HÚMEDA (OHMIOS)	RESISTENCIA SECA (OHMIOS)
Contacto de un dedo	4 – 15 k	40k – 1M
Mano sosteniendo un cable	3 – 6k	15 – 50k
Asir con el pulgar	2 – 5k	10 – 30k
Manipulación de un taladro	0.5 – 1.5k	1 – 3k
Mano sumergida	200 – 750	-
Pie sumergido	100 – 300	-

Fuente. ITS consultants. (2014). Seguridad Eléctrica alto voltaje en minería

Por otro lado hay muchos que piensan que al no pararse directamente sobre la tierra los protege, esto no es necesariamente correcto, ya que si una persona se para sobre un piso de concreto ya está a tierra, por lo tanto la OHSAS y el Código Eléctrico Nacional (NEC) concuerdan que el concreto es una superficie a tierra, la tabla 25 señala la variabilidad de los niveles de resistencia para el concreto, bajo diferentes condiciones:

Tabla 25:

Valores de Resistencia de Concreto

CONDICIÓN	RESISTENCIA (OHMIOS)
Concreto seco sobre el piso	1 – 5M
Concreto seco a nivel del piso	200k – 1M
Concreto húmedo a nivel del piso	1 – 5k

Fuente. ITS consultants. (2014). Seguridad Eléctrica alto voltaje en minería.

Estos valores que se muestra en la tabla de resistencia del concreto son valores basados en áreas iguales a 130 cm^2, y aún más podrían variar dependiendo del tipo de zapato, humedad del ambiente, si hay plataformas de caucho o si se utiliza zapatos y guantes aislantes, logrando alcanzar un promedio de 20 Megaohmios.

5.1.4.3. Calculo de Choque *eléctrico.*

Si se desea realizar un cálculo para los casos mencionados anteriormente, se hace referencia a la ley de Ohm, cuando dice que la Corriente va ser igual al nivel de voltaje sobre la resistencia.

Para el primer caso se tenía un equipo con un nivel de tensión de 480 VAC, aplicando la formula se tiene:

I = V/R … I = 480 Voltios / 1000 Ohm … = 0.48 Amp ó 480 mA

Para este primer caso se tuvo una resistencia de 1000 Ohm, valor referencial el cual tiene una persona normal (bajo condiciones comunes de trabajo donde una persona transpira), sin embargo, hay factores que producen variación en este último valor y por ello va a

depender la intensidad de corriente que logre pasar a través del cuerpo.

Se tiene según las estadísticas, que casi todas las muertes instantáneas producidas por un choque eléctrico, puede originarse por parálisis directa del sistema respiratorio (25 mA a más) detención del bombeo del corazón debido a una fibrilación ventricular (60 mA a más), o inmediata y completa detención del corazón (4 amperios a más).

Por lo tanto se muestra en la tabla 26 el cálculo para diferentes niveles de tensión, como señala en el anexo 17 del DS–024–2016 EM, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería; calculando la variación de la corriente a través del cuerpo con los diferentes valores de resistencia.

Tabla 26:

Calculo de Corriente a través del Cuerpo

Calculo de Corriente a través del Cuerpo (Amperios)														
	Variables de Resistencia de la Piel Humada						*Variables de Resistencia de la Piel Seca*				*Valores de Resistencia de Concreto*			*Factores adicionales de protección individual*
Voltaje	*Contacto de un dedo kOhmios*	*Mano sosteniendo un cable kOhmios*	*Asir con el pulgar kOhmios*	*Manipulación de un taladro kOhmios*	*Mano sumergida Ohmios*	*Pie sumergido Ohmios*	*Contacto de un dedo MOhmios*	*Mano sosteniendo un cable kOhmios*	*Asir con el pulgar kOhmios*	*Manipulación de un taladro kOhmios*	*Concreto seco sobre el piso MOhmios*	*Concreto seco a nivel del piso MOhmios*	*Concreto húmedo a nivel del piso kOhmios*	*Zapatos , Guantes y Mantas dieléctricas MOhmios*
	9,5	**4,5**	**3,5**	**1**	**475**	**200**	**0,50002**	**32,5**	**20**	**2**	**3**	**0,5001**	**3**	**20**
110	0,01	0,02	0,03	0,11	0,23	0,55	0,00022	0,0034	0,0055	0,0550	0,00004	0,00022	0,04	0,00001
220	0,02	0,05	0,06	0,22	0,46	1,10	0,00044	0,0068	0,0110	0,1100	0,00007	0,00044	0,07	0,00001
250	0,03	0,06	0,07	0,25	0,53	1,25	0,00050	0,0077	0,0125	0,1250	0,00008	0,00050	0,08	0,00001
440	0,05	0,10	0,13	0,44	0,93	2,20	0,00088	0,0135	0,0220	0,2200	0,00015	0,00088	0,15	0,00002
2400	0,25	0,53	0,69	2,40	5,05	12,00	0,00480	0,0738	0,1200	1,2000	0,00080	0,00480	0,80	0,00012
4160	0,44	0,92	1,19	4,16	8,76	20,80	0,00832	0,1280	0,2080	2,0800	0,00139	0,00832	1,39	0,00021

Fuente. Elaboración propia

5.1.4.4. Prevención del Choque *Eléctrico.*

Para todo trabajo o entorno con exposición a una fuente de energía activa, la mejor prevención es realizar el aislamiento de esta energía y drenar toda posible presencia de energía residual.

Sin embargo, se considera sistemas de protección ya sea para posibles contactos directos o indirectos; las protecciones para evitar contactos indirectos son de 3 categorías:

- Protecciones completas; esta protección está diseñada para evitar cualquier contacto con las partes energizadas, como al recubrir completamente partes activas con un aislamiento el cual debe ser capaz de soportar influencias externas.

  La protección debe contar con barreras o envolventes que deben de estar fijos de un modo seguro y robusto, brindando una calidad suficiente para asegurar los grados de protección requeridos (IP).

- Protecciones parciales; esta protección está diseñada para evitar toques accidentales con las partes energizadas, es decir el uso de obstáculos, barreras y envolventes debe de estar instalados de forma como una barrera dura.

- Medidas de protección complementarias; cuando se hace mención a medidas de protección complementarias se hace referencia a interruptores diferenciales de alta sensibilidad (IDn < 30mA), que su función es de protección a un usuario en caso de contacto con el punto activo.

Sin embargo, este interruptor diferencial tiene dos debilidades para este sistema, el primero es que no actúa de forma preventiva, solo se activa cuando ya existe un choque eléctrico; y la segunda es porque no actúa cuando se produce un doble contacto directo (Fase a fase, o fase a neutro).

5.1.4.5. Fronteras de Aproximación de Choque Eléctrico*.*

El análisis de riesgo de choque eléctrico debe determinar la tensión a la cual estará expuesto el personal, los requisitos de fronteras y EPP necesario.

Para el riesgo de choque eléctrico se tiene 3 fronteras de protección, las cuales deben ser aplicadas al personal que se aproxime a un conductor eléctrico o partes de circuitos energizadas.

Y se debe tener en cuenta las diferencias del personal calificado y del no calificado (Ver cuadro 7):

PERSONAL CALIFICADO	PERSONAL NO CALIFICADO
Cuenta con habilidades y conocimientos relacionados con la construcción y el funcionamiento de las instalaciones y equipos eléctricos y que ha recibido capacitación en seguridad para reconocer y evitar los peligros implicados.	Una persona que no es una persona calificada.

Cuadro 7. **Diferencia entre personal calificado y no calificado.**
Fuente. Comité Técnico de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. (2012). Norma para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo. NFPA 70E, Pag.13.

El mantener una segura distancia de aproximación a los conductores o partes de circuitos eléctricos energizados expuestos, es un medio efectivo para mantener la

seguridad eléctrica. Por ello se muestra a continuación, la tabla 27 de fronteras de aproximación a conductores eléctricos que señala la norma internacional NFPA 70E:

Tabla 27:

Fronteras de aproximación

Fronteras de Aproximación a Conductores Eléctricos o Partes de Circuitos Energizados para Protección Contra Choque Eléctrico								
Rango de la Tensión Nominal del Sistema Fase a Fase	*Frontera de Aproximación Limitada*				*Frontera de Aproximación Restringida; Incluye Suma de Movimiento Inadvertido*		*Frontera de Aproximación Prohibida*	
	Conductor Móvil Expuesto		*Parte de circuito Fija Expuesta*					
	m	*ft*	*m*	*ft*	*mm*	*ft*	*Mm*	*Ft*
Menos de 50 V	No especificado		No especificado		No especificado		No especificado	
50 V a 300 V	3,05	10,01	1,07	3,51	Evitar contacto		Evitar contacto	
301 V a 750 V	3,05	10,01	1,07	3,51	304,8	1,00	25,4	0,08
751 V a 15 kV	3,05	10,01	1,53	5,02	660,4	2,17	177,8	0,58
15.1 kV a 36 kV	3,05	10,01	1,83	6,00	787,4	2,58	254	0,83
36.1 kV a 46 kV	3,05	10,01	2,44	8,01	838,2	2,75	431,8	1,42
46.1 kV a 72.5 kV	3,05	10,01	2,44	8,01	1000	3,28	660	2,17

Fuente. Comité Técnico de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. (2012). Norma para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo. NFPA 70E, Pag.25.

En la frontera de aproximación limitada; las personas no calificadas deben mantener distancia de los conductores y partes con circuitos energizados expuestos, solo personal calificado puede ingresar hacia el espacio limitado.

En la frontera de aproximación restringida; ya aumenta el riesgo de choque eléctrico y de arco eléctrico, donde el único que podrá ingresar será el personal calificado.

Para ingresar al espacio restringido, se deberá contar con un plan de trabajo, EPP apropiado, seguro que ninguna parte del cuerpo se exponga en el espacio

prohibido y de minimizar el riesgo de movimientos involuntarios.

Al ingresar a la frontera de aproximación prohibida, se considera lo mismo que estar haciendo contacto con la parte viva.

Para poder cruzar hacia el espacio prohibido, se debe tener entrenamiento específico para trabajar en sistemas energizados, tener un plan que justifique la necesidad del trabajo, realizar análisis de riesgos y utilizar EPP que sea apropiado.

A continuación, se muestra en la figura 12 las fronteras y espacios de aproximación:

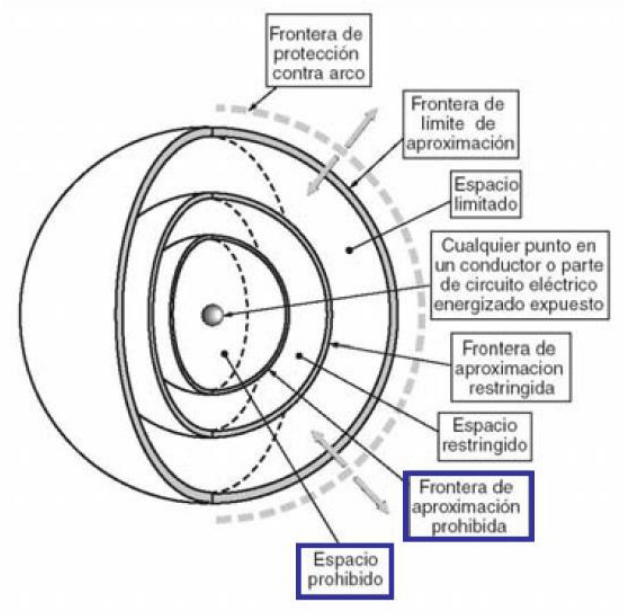

Figura 12. **Fronteras de Protección**
Fuente. Comité Técnico de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. (2012). Norma para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo. NFPA 70E, Pag.59.

Para poder ver en el caso a un MCC con un nivel de tension de 480 VAC, se tiene la figura 13, señalando las distancias de las fronteras de aproximacion:

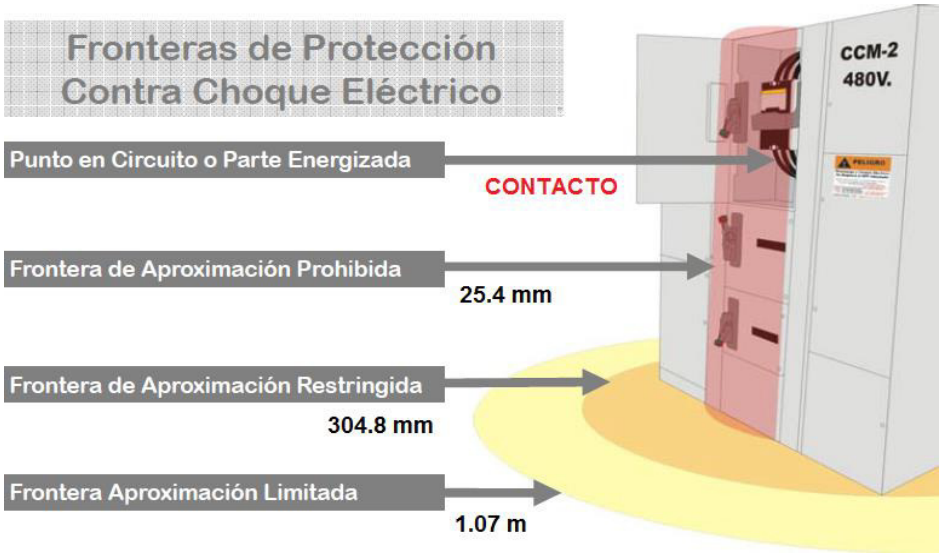

Figura 13. **Fronteras de Protección contra Choque Eléctrico para 480 VAC**

Fuente. Elaboración propia.

5.1.4.6. Nivel de Riesgo y Tipo de Elementos de Protección Personal a Utilizar.

La norma NFPA-70E, sugiere los equipos de protección personal a utilizar en cada caso, dependiendo del novel de riesgo presente (Nivel de tensión).

Para ello se cuenta con guantes aislantes de caucho, los cuales vienen en 6 clases que se muestran en el cuadro 8:

USO MAXIMO DE LOS GUANTES AISLANTES DE CAUCHO		
CLASE	VOLTAJE DE PRUEBA AC / DC	VOLTAJE DE USO MÁXIMO AC / DC
00	2500 / 10,000	500 / 750
0	5,000 / 20,000	1,000 / 1,500
1	10,000 / 40,000	7,500 / 11,250
2	20,000 / 50,000	17,000 / 25,500
3	30,000 / 60,000	26,500 / 39,750
4	40,000 / 70,000	36,000 / 54,000

Cuadro 8. **Clases de guantes aislantes**

Fuente. Catalogo Salisbury. (2013). Proteccion de seguridad eléctrica.

Estos guantes aislantes cumplen y superan las normas ASTM D120 y IEC EN60903.

Estos guantes dielectricos debes ser utilizados externamente por guantes protectores de cuero, para eviatar que los guantes aislantes sufran de algun corte, abrasion y/o pinchaduras. Ya que si por solo una pequeña abertura el guante aislante ya no tendria la efectividad de proteccion contra la corriente. Estos guantes de cuero estan normados bajo la ASTM F496.

Tambien se tienen los guantes textiles, guantes que tienen diferentes funciones como mejorar la maniobrabilidad del trabajador, higiene (por sudor), abrigadores en temporadas frias y la mas importante ante una esxposicion a un arco electrico evita que el guante aislante se adhiera a la piel directamente probocando quemaduras de 2do grado.

Estos guantes pueden ser de jerse o de algodón, y deben ser utilizados por debajo del guante aislante.

En cuanto al calzado se cuenta con dos clases basicas de zapatos, para diferentes niveles de tension como se muestra en el cuadro 9:

CLASE	VOLTAJE USO MÁXIMO
00	500
0	1000

Cuadro 9. **Clases de calzado dielectrico**

Fuente. Elaboración propia

Sin embargo, gracias a la tecnología se ha desarrollado una nueva modalidad de calzado dieléctrico, como señala la norma internacional ASTM F1117 Y F1116, al contar con calzado con una capacidad de 12kV.

El casco recomendado para esta actividad es el casco de clase E, casco que cuenta con una capacidad hasta de 30kV según normas ANSI/ISEA Z89.1. El cual deberá contar con su protector facial para el riesgo de arco eléctrico dependiendo de su ATPV del traje.

5.1.4.7. Etiquetas de Seguridad.

Luego de tener los niveles de riesgo y el tipo de elemento de protección personal, se deberá poner esa información en el punto, mediante unas etiquetas de seguridad que contienen toda esta información y adicionalmente las distancias de aproximación segura, el nivel de voltaje de ese punto y el nombre del equipo. (Ver figura 14 y 15):



Figura 14. **Etiqueta de seguridad para sistema de 480 V**

Fuente. Elaboración propia.

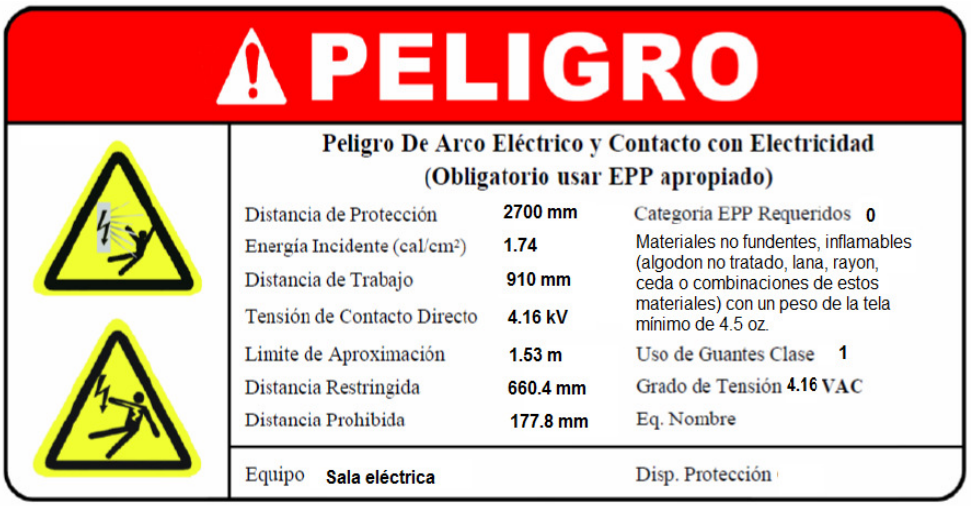

Figura 15. **Etiqueta de seguridad para sistema de 4.16 kV**

Fuente. Elaboración propia.

5.2. Pruebas de Hipótesis

Al realizar el estudio de los riesgos de choque y arco eléctrico, se identifica el alto potencial de poder causar un daño a la persona, y a su vez los métodos preventivos para reducir y/o evitar accidentes,

Se prueba las hipótesis diciendo que al realizar el análisis de riesgos eléctricos, conociendo el valor nominal de un arco eléctrico y el umbral de daño de una intensidad de corriente; se puede optimizar las condiciones de trabajo aplicando las propuestas de prevención de riesgos ya mencionadas y así reducir significativamente accidentes eléctricos en el sector minero en la ciudad de Cusco.

Por otro lado, la mejor medida de prevención para trabajar con fuentes de energía eléctrica seria trabajar con circuitos desenergizados (Cero energía), pero es importante realizar los cálculos para poder hallar su energía incidente (cal/cm^2) y su intensidad de corriente (Amperios), para poder conocer que tan lejos deberán estar ante un riesgo eléctrico (fronteras de aproximación) y cómo poder evitar lesiones derivadas de estos riesgos.

Se puede decir, que las variables se relacionan e interactuar significativamente con la implementación de medidas de control tanto

para el riesgo de arco y choque eléctrico según la norma internacional NFPA 70E – IEEE1584 y las hipótesis planteadas.

5.3. Presentación de Resultados

Al elaborar una matriz IPERC (Ver tabla 28), se valoriza los posibles riesgos para la tarea, pero la deficiencia al realizar una evaluación de riesgos en campo, llega a ser un problema para poder mitigar el riesgo a un nivel aceptable. Es por ello que se propone el siguiente flujo (Ver figura 16) para analizar los peligros/riesgos de la siguiente forma;

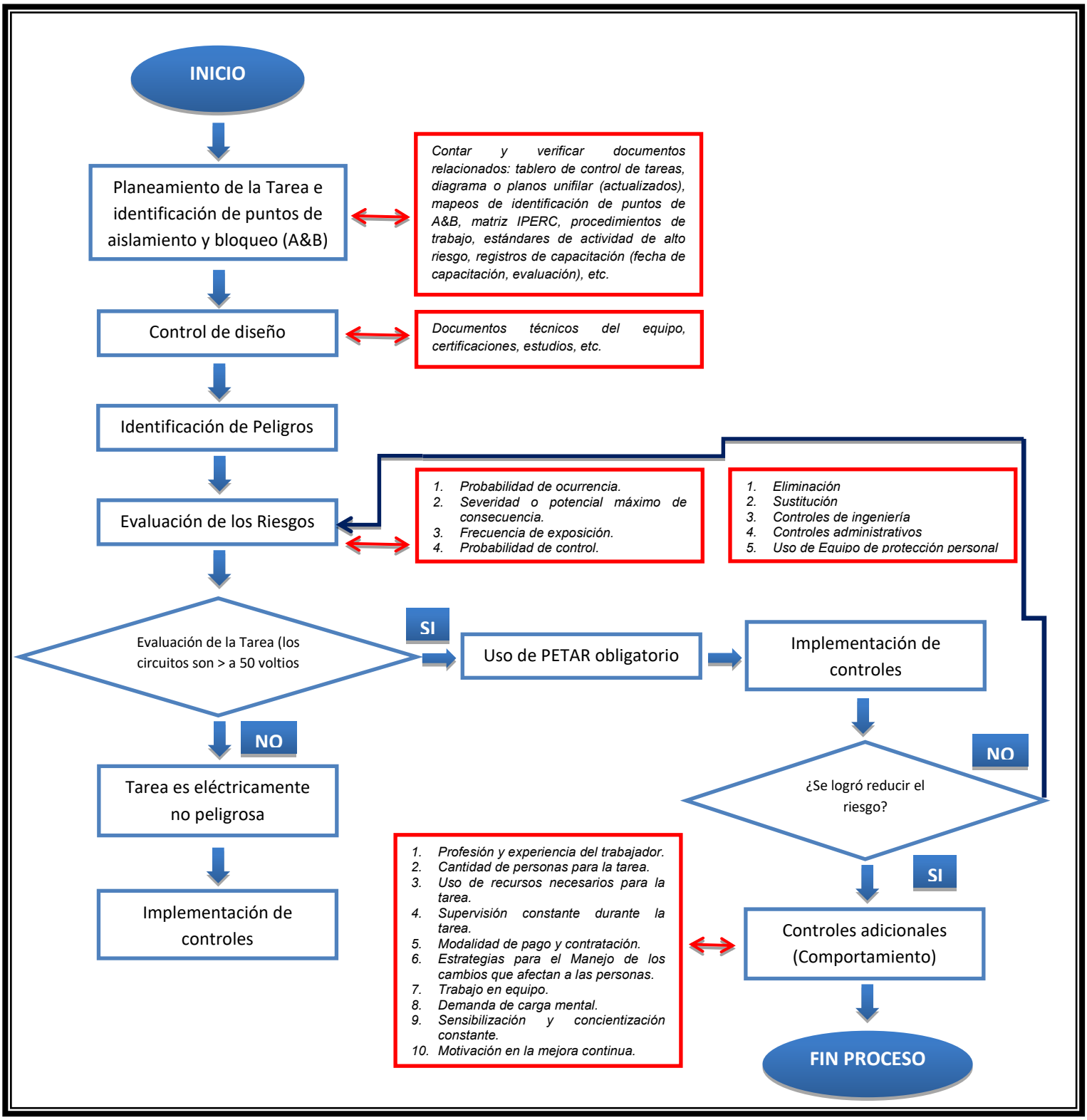

Figura 16. **Proceso de evaluación de riesgos**

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 28:

Matriz de Identificación de Peligros Evaluación y Control de Riesgos (IPERC)

No.	Sub Procesos / Etapas del Proceso	Tarea	R / NR	Peligro HS / Aspecto Ambiental o Social	Riesgo / Impacto Ambiental o Social	Consecuencias	HS EC	PM C	Eliminación	Sustitución	Ingeniería o Aislamiento	Control Administrativo	Equipo de Protección Personal (EPP)	P	C	NR R
1		Conservación de Salas eléctricas	R	Fuente de energía Eléctrica	Contacto con equipo energizado Shock eléctrico, Arco Eléctrico	Fatalidad, Lesiones Graves, fibrilación, contracciones musculares, quemaduras externas o internas	S	4		Sistema de dispositivos de protección limitador de corriente con un relé con sensores de luz con respuesta de 2 ciclos	Aislar y Bloquear la fuente de energía, Uso de mantas dieléctricas, implementar etiquetas de seguridad para señalar las fronteras de aproximación Puesta a tierra de baja resistencia. Sistema de mitigación de relámpago de arco de baja impedancia. Protección de aislamiento en equipo grado IP. Protección con barreras duras en zonas de riesgo. Protección con interruptores de protección de alta sensibilidad.	Capacitación de aislamiento y bloqueo, aplicar las 5 reglas de oro del electricista, no exponerse en contacto directo al punto energizado (Fronteras de aproximación para choque y arco eléctrico, Solo en caso no se pueda realizar el aislamiento de la fuente de energía), capacitación en seguridad eléctrica. Conocimiento en el procedimiento de evaluación de riesgos para optimizar la reducción del riesgo	Guantes dieléctricos clase 00 o 0 según nivel de tensión, guantes de cuero para protección externa, guantes de algodón tratado, Zapatos de seguridad dieléctricos o tipo EH, y casco dieléctrico tipo E, traje anti arco de categoría II, protector facial anti arco, tapones auditivos, lentes de seguridad.	E	2	3

Fuente. Elaboración propia

Para poder haber dado la valorización a los riesgos identificados, con la metodología As low as reasonably practicable (ALARP) se ha utilizado la siguiente matriz 5x5. (Ver figura 17):

MATRIZ DE RIESGOS 5x5

		PROBABILIDAD				
	NIVEL	E MUY RARO	D IMPROBABLE	C POSIBLE	B PROBABLE	A CASI CERTERO
CONSECUENCIA	5 - CATASTROFICO	15	19	22	24	25
	4 - MAYOR	10	14	18	21	23
	3 - MODERADO	6	9	13	17	20
	2 - MENOR	3	5	8	12	16
	1 - INSIGNIFICANTE	1	2	4	7	11

NIVEL DE RIESGO	Bajo 1-6	Medio 7-16	Alto 17-25
	Se procede con el trabajo	Se realiza el trabajo con SUPERVISIÓN PERMANENTE	No se realiza el trabajo bajo ninguna circunstancia

Figura 17. **Matriz 5x5**

Fuente: Elaboración propia, basada DS N°024-2016-EM.

En la evaluación de riesgos se llega a determinar si los riesgos son aceptables o inaceptables en base a un criterio (ALARP), es decir mientras el nivel de riesgo (NR) está dentro de los cuadrantes verdes no es necesario un estudio detallado para demostrar el ALARP, pero si el NR está dentro de la sección amarilla, es un riesgo que se asume y es tolerable, siempre y cuando la reducción del riesgo no sea posible o el costo adicional para la reducción del riesgo es demasiado alto en comparación a la mejora.

Y finalmente si se encuentra dentro de la sección roja, el riesgo no puede ser justificado desde ningún punto de vista y por lo tanto no se realizara ningún trabajo.

Como resultado conjunto con esta matriz IPERC se identifica un potencial máximo de consecuencia de 4, lo que significa que el trabajador podría sufrir desde una lesión incapacitante permanente o hasta la muerte.

Implementando las medidas de control señaladas en la matriz IPERC, se llegó a disminuir la probabilidad de la ocurrencia de un probable (podría ocurrir una vez a la semana, B) a un Muy raro (E), obteniendo una probabilidad de ocurrencia desde 10 años o a más.

En cuanto a la severidad, se llegó a reducir hasta un nivel de 2 (menor), donde las lesiones podrían ser hasta un máximo con tratamiento médico, debido al uso de equipo de protección personal, ya que en este caso el EPP si ataca directamente a la severidad, y este aportaría para poder bajar su nivel 4 de mayor a un posible 3 (moderado) o a un posible 2 (menor).

Hay que recordar que la consecuencia no se suele reducir fácilmente debido a que la mayoría de medidas de control que implementan se enfocan en atacar la probabilidad de ocurrencia más no en la consecuencia del fenómeno.

Finalmente al aplicar los métodos propuestos para la reducción del riesgo, realizando un cálculo de cuanto es el porcentaje de reducción del riesgo:

Si se tiene un PMC de 4 y con los controles se minimizo a un PMC de 2, pues se tiene un 50% de reducción en la severidad. Mientras que en la probabilidad se tiene un valor inicial de probable “B” y se minimizo hasta un “E”, si la ponderación es B=4 y E=1, se reduce 3 niveles, por lo tanto se tiene un 75% de reducción en la probabilidad.

En base a un modelo matemático exponencial decreciente, se calcula una tendencia para hallar la relación entre el crecimiento de observaciones de acto / condición, los análisis de riesgos eléctricos y su implementación de las medidas de control, y de esta manera demostrar cómo influyen al lograr optimizar las condiciones de trabajo y reducir la posibilidad de accidentes.

En la figura 18, se identifica una tendencia creciente de actos y condiciones, identificando una alta probabilidad de empezar a generar fatalidades, y así mismo se muestra una tendencia de

reducción significativa de la probabilidad de accidentes (fatalidades) al aplicar los siguientes controles:

Efectividad de controles para prevenir un arco eléctrico:

- Circuito de baja impedancia para desviar arco eléctrico: 80%.
- Relé de protección con sensores de luz: 80%.
- Aislamiento y bloqueo: 60%.
- Frontera contra arco eléctrico: 60%.
- Equipo protección personal contra arco: 20%.

Controles para prevenir un choque eléctrico:

- Aislamiento y bloqueo: 60%.
- Recubrimiento de aislamiento partes activas: 60%.
- Barreras duras: 60%.
- Interruptores diferenciales de alta sensibilidad: 60%.
- Frontera contra choque eléctrico: 60%.
- Equipo protección personal dieléctrico: 20%.

Estos controles identificados en el análisis de riesgos fueron cuantificados en base a la jerarquía de controles, dando los siguientes porcentajes de efectividad: 100% - Eliminación, 80% - Sustitución, 60% - Ingeniería / Aislamiento, 40% - Administrativo, 20% - EPP´s; de esta manera el factor de decrecimientos de 80% se aplica en el modelo matemático para la optimización de la condición de trabajo.

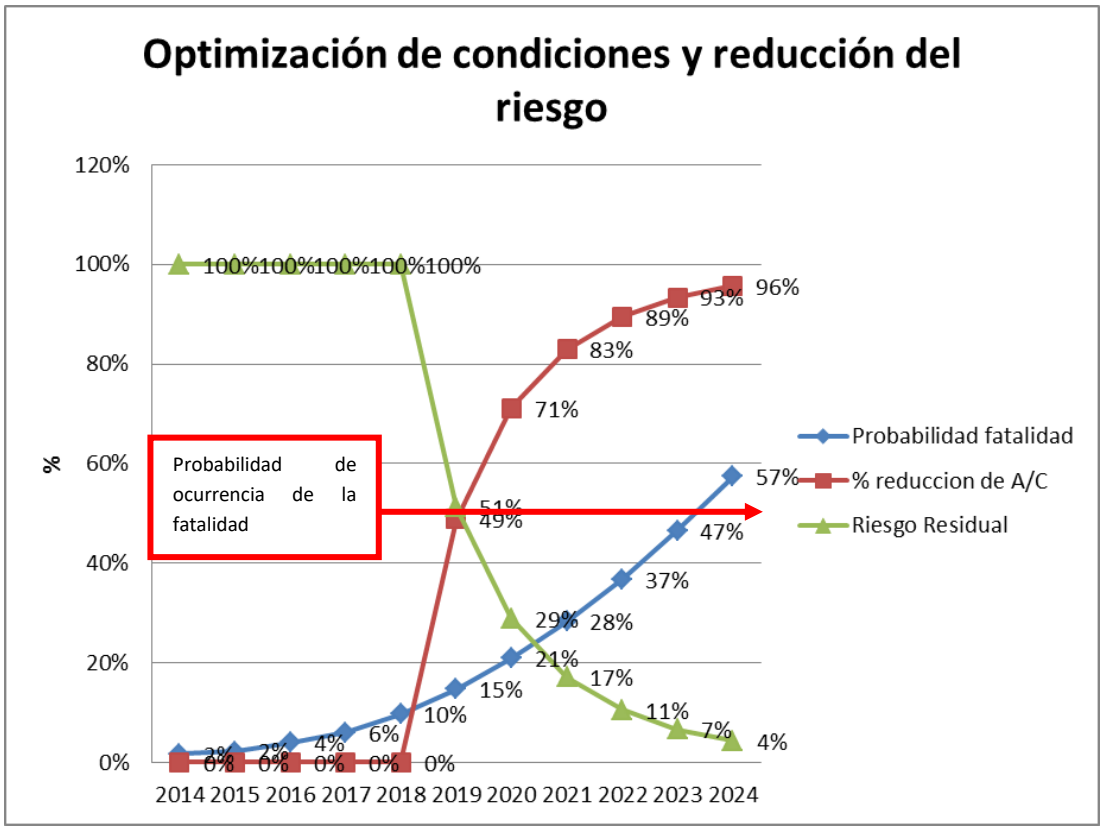

Figura 18. **Optimización de condiciones y reducción del riesgo**

Fuente. Elaboración Propia, en base a Compañía Minera. (2019). Cusco, Perú.

La figura 18 se interpreta de la siguiente manera; a partir del año 2024 aparece la probabilidad de una fatalidad generada por la exposición a un riesgo eléctrico (57% sin asegurar alguna medida de control), pero al realizar un análisis de riesgos eléctricos y gestionar sus controles, el porcentaje de reducción del riesgo se calcula hasta un 96% en el año 2024 (considerando que se realizó el 80% de decrecimiento de la tendencia de actos y condiciones sub estándares), lo que al final da como resultado final un 4% de riesgo residual (inversamente proporcional al porcentaje de reducción del riesgo); y así de demuestra la efectividad de los controles.

Con estos valores se viabiliza la hipótesis planteada, llegando a alcanzar los objetivos propuestos.

VI. CONCLUSIONES

1. Se optimiza las condiciones de trabajo en base a los análisis de los riesgos eléctricos (Arco y choque eléctrico), identificando las acciones y/o medidas preventivas a fin de reducir y/o evitar accidentes eléctricos como se menciona con los 4 métodos y el procedimiento propuesto.

2. En la evaluación del arco eléctrico se llegó a interpretar para un nivel de tensión de 480 V, se llega a tener una generación de energía incidente de 5.12 cal/cm^2, a 918 mm de distancia. Y para un nivel de tensión de 4.16 kV, se tiene una generación de energía incidente entre 1.24 a 1.74 cal/cm^2, a una distancia de 1352 mm a 2700 mm respectivamente.

   Es decir, no necesariamente se podría interpretar que a mayor nivel de tensión la energía incidente va ser directamente proporcional, por lo tanto la aplicación de medidas de control se deben implementar tanto para equipos de baja o media tensión, con la finalidad de reducir accidentes.

3. En la evaluación del choque eléctrico, se realizó el análisis en base a la ley de Ohm, con un nivel de tensión de 480 V y una resistencia humana promedio de 1000 Ohm, obteniendo un paso de corriente de 480 mA, suficiente para matar a una persona, y se reafirma que cuando más alta sea la resistencia de un cuerpo la corriente será inversamente proporcional, por lo tanto, se requiere mínimo una resistencia de 1667 Ohm para evitar una parálisis respiratoria y/o muerte.

   Se evaluó la intensidad de corriente en base a 3 variables de resistencia (Piel seca, húmeda y base de concreto) para determinar la variación de flujo de corriente al pasar por un cuerpo, a fin de evitar o mitigar la severidad de un choque eléctrico.

4. Después de evidenciar las consecuencias por exposición a riesgos eléctricos, el aporte en la prevención de riesgos eléctricos al sistema de gestión de SSO se concluye con la aplicación de la jerarquía de controles, implementando controles de ingeniería de protección, mitigación, identificación y aislamiento; adicional a ello es importante la capacitación y concientización de los trabajadores (control administrativo) y finalmente el uso del equipos de protección específico para realizar el trabajo (dieléctrico y contra arco eléctrico).

VII. RECOMENDACIONES

Como producto de la investigacion se recomienda:

1. Realizar una gestion de evaluacion de riesgos de acuerdo al flujo propuesto, llegando a analizar por medio de un IPERC para todo el proceso, y asegurarse que al aplicar las medidas de control sean las necesarias para minimizar la probabilidad de ocurrencia de un accidente y minimizar su nivel de consecuencia ante su exposicion.

2. Se debe identificar actividades claves donde una fuente de peligro, presente riesgo de arco o choque eléctrico en todos sus niveles y dimensiones, para poder dirigir los controles de mantenimiento preventivo, fronteras de aproximacion, utilizar los equipos de proteccion personal adecuados.

3. Ante todo riesgo con energia electrica presente, la mejor forma de realizar un trabajo es con cero energia, lo que se recomienda proceder con maniobras de aislamiento y bloqueo de toda fuente de energia antes de realiar un trabajo.

4. Se recomienda realizar un estudio de arco electrico como minimo cada 1 a 3 años, ya que por alguna alteracion en el sistema podria variar las condiciones y el valor de energia incidente tambien podria variar.

5. Para todo trabajo con exposicion a energia electrica, se debera contar con un permiso de trabajo de alto riesgo, debidamente aprobado por los responsables.

6. Se recomienda un programa de capacitacion y etrenamiento en materia de seguridad electrica y aislamiento y bloqueo.

7. Se recomienda la inspeccion mensual de los equipos, sistemas, circuitos, realizado mantenimientos preventivos y/o correctivos según sea necesario.

8. Se recomienda la inspección de los elementos de proteccion individual antes, durante y despues de utilizarlos, dejando un registro de inspecion.

9. Se recomienda contar con planos y/o diagramas actualizados en el lugar de trabajo.

10. Se recomienda contar con un programa de gestión de seguridad eléctrica, donde se detalle planes de trabajo, auditorias, comites, verificación de la efectividad de controles criticos, entre otros.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barahona Urbano, E. D. (2015). Evaluación y propuesta para controlar la seguridad pública en la distribución eléctrica en Perú. Lima.

2. Bird, F. (1969). Seguridad industrial y prevención de riesgos laborales.

3. Bird, F. (Diciembre de 2014). La teoría de la causalidad de Bird. Obtenido de http://www.emb.cl.

4. Clavijo Edgar, R., Vera Gutierrez, V., & Landin Ordoñez, F. (2009). Analisis de los Riesgos y Peligros de incendio en Estaciones de Transformacion de Energia y Centro de Control de Motores. Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral.

5. Comite Eléctrico. (2002). Guide for Performing Arc Flash Calculations (IEEE 1584).

6. Deming, E. (2013). Mejora continua. En J. Sobrino, Habitos para la mejora continua. Lima: Ojo Prodijo.

7. Fundación Cientifica y Tecnológica - Especialista de la Asociación Chilena de Seguridad FUCYT ACHS. (2013). Seguridad Eléctrica. HSEC Prevencion de Riesgos - Seguridad Industrial - Salud Ocupacional.

8. IBM. (2012). SPSS Statistics 21.0.

9. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. (2009). Seguridad Electrica, Salud y Seguridad para los Oficios Eléctricos. EE.UU.: NIOSH.

10. ITS Panama S.A. (2014). Seguridad Electrica Alto Voltaje en Mineria. Panama: ITS Consultores de Panama.

11. Lopez Roldan, P., & Fachelli, S. (2015). Metodologia de la Investigación Social Cuantitativa. Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona.

12. Lopez Rosales, J. C. (2003). Programa en Microsoft Visual Basic 6.0 para el Analisis de Riesgos Electricos en Oficinas y Centros de Computo. Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

13. Maslow, A. (2013). Teoria de las necesidades escalera del conocimiento. En J. Sobrino, Habitos para la mejora continua.

14. Minas, M. d. (2010). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Mineria. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas. Lima, Lima, Peru.

15. Minas, M. d. (2013). Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad (R.M. 111-2013 MEM/DM). Lima.

16. Minas, M. d. (2015). Analisis de accidentes mortales 2011 - 2015. Lima.

17. Minas, M. d. (2016). DS N° 024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Mineria. Lima, Lima, Peru.

18. minas, m. d. (30 de Septiembre de 2016). Estadisticas de accidentes. Obtenido de Estadisticas de accidentes.

19. Proteccion de Seguridad Eléctrica Salisbury. (Julio de 2013). Catalogo Salisbury. Obtenido de www.salisburybyhoneywell.com

20. Proteccion de Seguridad Eléctrica Salisbury. (s.f.). Catalogo Salisbury. Obtenido de www.salisbur ybyhoneywell.com

21. Rivadeneira Vergara, L. A., & Torres Ponguillo, V. A. (2010). Analisis de Fallas y Control de Protecciones como Prevencion de Riesgos Eléctricos. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

22. Serrano Durán, J. M. (2011). Análisis de gestión de riesgo en el mantenimiento de un sistema eléctrico, caso de: una subestacion de alta tensión. Mexico.

23. Sobrino, J. (2013). HMC Hábitos Para la Mejora Continua . Lima: Ojo Prodigo.

24. Trabajo, C. T. (2012). NFPA 70E Standard for Electrical Safety in the Worplace. EE.UU.: Oberon.

25. Trejo Torres, J. F. (2013). Comparacion de la Norma NFPA 70E y la IEEE1584-2002 para el Analisis del Arco Eléctrico para el uso Adecuado del Equipo de proteccion Personal. México: Instituto Politecnico Nacional.