



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

Estudio de arco eléctrico en baja tensión para determinar energía
incidente en una sub estación de 22.9/0.48 kV

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Caro Alhuay, Jorge Luis (orcid.org/ 0000-0002-3430-3742)

ASESOR:

Mg. Castro Anticona, Walter Miguel (orcid.org/0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedico mi trabajo de tesis a Dios por guiar mis pasos, a mis padres por sus sabios consejos y su amor incondicional. También a mi abuela que siempre estuvo presente en mi niñez y continúa hasta hoy.

Agradecimiento

Agradecer a Dios por las oportunidades que me brinda, a la vida por ser muy generosa conmigo y ponerme personas maravillosas en mi camino.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	24
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	24
3.2 Variables y operacionalización	25
3.3 Población, muestra y muestreo	25
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.5 Procedimientos	26
3.6 Método de análisis de datos	26
3.7 Aspectos éticos.....	26
IV. RESULTADOS	27
4.1 ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA.....	27
4.2 ANALISIS DE CORTO CIRCUITO	38
4.3 ANALISIS DE COORDINACION DE PROTECCIONES	42
4.4 ANALISIS DE ARCO ELECTRICO	45
V. DISCUSIÓN	56
VI. CONCLUSIONES.....	59
VII. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS	66

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Límites de dimensiones del recinto. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.	19
Tabla: 4.1.1 Límites de alarma y alerta de ETAP 20.00. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla: 4.1.2 Perfil de tensiones de los principales buses alimentadores de mina ubicada en Cajamarca. Fuente: Elaboración propia.....	27
Tabla: 4.1.3 Perfil de tensión del bus de 0.48kV. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 4.1.1: Flujo de potencia de la barra 300-EES-2-02_0.48 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: ETAP 20.00.....	29
Tabla: 4.1.4 Especificaciones técnicas del transformador de 22.9/0.48 Kv.....	30
Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla: 4.1.5 Especificaciones técnicas del conductor de la subestación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla: 4.1.6 Especificaciones técnicas del interruptor alimentador de la subestación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla: 4.1.7 Especificaciones técnicas del Bus de 0.48 Kv de la subestación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla: 4.1.8 Resultados del flujo de carga del sistema eléctrico de mina ubicada en Cajamarca. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla: 4.1.9 Límites de alarma y alerta de ETAP 20.00. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla: 4.2.1 Especificaciones técnicas del Bus de 0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.	39
Tabla: 4.2.2 Resultado del análisis de cortocircuito realizado por ETAP 20.00. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 4.3.1: Configuración de parámetros de corriente del IN-249 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: ETAP 20.00.....	42
Tabla: 4.3.1 Seteos de protección del IN-249 de la Subestación de 22.9/0.48 kV Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla: 4.4.1 Resultado del análisis de energía incidente del Bus de 0.48Kv. Fuente: Elaboración propia.	47
Tabla: 4.4.2 Resultado del análisis de energía incidente del Bus de 0.48Kv. Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla: 4.4.3 Resultado del análisis de energía incidente del Bus de 0.48Kv. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla: 4.4.4 Resumen de análisis de energía incidente según la configuración de electrodos del Bus.....	54

Índice de gráficos y figuras

Figura 2.1: Ecuación para el cálculo de corriente de arco según el voltaje. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.....	13
Figura 2.2: Ecuación para el cálculo de energía incidente según el voltaje. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.....	16
Figura 2.3: Configuración de electrodos. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.....	20
Figura 4.1.1: Flujo de potencia de la barra 300-EES-2-02_0.48 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: ETAP 20.00.....	29
Figura 4.2.1: Análisis de corto circuito en barra de 0.48kV. Fuente: ETAP 20.00.....	40
Figura 4.3.1: Configuración de parámetros de corriente del IN-249 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: ETAP 20.00.....	42
Figura 4.3.2: Curva de protección del bus 300-EES-2-02_0.48 de 0.48 kV hacia su interruptor alimentador IN-249 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv.....	43
Fuente: ETAP 20.00.....	43
Figura 4.4.1: Configuración de parámetros del Bus de 0.48Kv - Configuración de electrodos en VCB. Fuente: ETAP 20.00.....	45
Figura 4.4.2: Análisis de arco eléctrico. Configuración de electrodos VCB en el Bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv. Fuente: ETAP 20.00.....	46
Figura 4.4.3: Resultado del análisis de arco. Configuración de electrodos en VCB. Fuente: ETAP 20.00.....	47
Figura 4.4.4: Configuración de parámetros del Bus de 0.48Kv - Configuración de electrodos en VCBB. Fuente: ETAP 20.00.....	48
Figura 4.4.5: Análisis de arco eléctrico. Configuración de electrodos VCBB en Bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv. Fuente: ETAP 20.00.....	49
Figura 4.4.6: Resultado del análisis de arco. Configuración de electrodos en VCBB. Fuente: ETAP 20.00.....	50
Figura 4.4.7: Configuración de parámetros del Bus de 0.48Kv - Configuración de electrodos en HCB. Fuente: ETAP 20.00.....	51
Figura 4.4.8: Análisis de arco eléctrico. Configuración de electrodos HCB en Bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv.....	52
Fuente: ETAP 20.00.....	52
Figura 4.4.9: Resultado del análisis de arco. Configuración de electrodos en HCB. Fuente: ETAP 20.00.....	53
Figura 4.4.10: Etiqueta informativa de peligro por arco eléctrico - Configuración de electrodos en VCB. Fuente: ETAP 20.00.....	55

Resumen

La revisión del estudio de arco eléctrico es muy importante porque nos permite poder identificar los puntos en los que estamos expuestos a elevados niveles de energía incidente. Teniendo identificados estos niveles podemos tomar medidas necesarias de seguridad para realizar trabajos eléctricos seguros y salvaguardar la integridad del trabajador y de las instalaciones. Podremos seleccionar el EPP adecuado de acuerdo a el nivel de energía incidente detectada y tener en cuenta la distancia límite de arco.

Para esta investigación nos basamos en el estándar de la IEEE 1584-2018 y para las simulaciones y calculo utilizamos el software ETAP 20.00.0. Obteniendo como resultado que la configuración de electrodos VCB es la más idónea para la subestación de 22.9/0.48 kV. Nuestro estudio fue aplicado al bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv.

El análisis de energía incidente debe ser actualizado en intervalos de tiempo que no excedan los 5 años. También deberá actualizarse si ocurriera algún cambio en el sistema de distribución eléctrica que pueda afectar los datos de energía incidente ya hallados. Esto según la NFPA 70E-2021.

Palabras clave: Configuración de electrodos - Corriente de arco - Energía incidente.

Abstract

The review of the electric arc study is very important because it allows us to identify the points where we are exposed to high levels of incident energy. Having identified these levels we can take the necessary safety measures to perform safe electrical work and safeguard the integrity of the worker and the facilities. We will be able to select the appropriate PPE according to the level of incident energy detected and take into account the arc limit distance.

For this research we rely on the IEEE 1584-2018 standard and for the simulations and calculation we use the ETAP 20.00.0 software. We obtained as a result that the VCB electrode configuration is the most suitable for the 22.9/0.48 kV substation. Our study was applied to the 3000-EES-2-02_0.48 bus of 0.48 kV.

The incident power analysis should be updated at time intervals not to exceed 5 years. It should also be updated if any changes occur in the electrical distribution system that may affect the incident energy data already found. This is in accordance with NFPA 70E-2021.

Keywords: Electrode configuration - Arc current - Incident energy.

I. INTRODUCCIÓN

La importancia del Arco Eléctrico y sus efectos nocivos según Tristán W. Casey es que la mayoría de los incidentes de seguridad eléctrica son implacables en términos de sus efectos sobre la vida humana. Por ejemplo, el Arco Eléctrico es un peligro insidioso que implica el flujo de corriente a través del aire entre conductores de fase, o entre conductores de fase y tierra. Esencialmente, un cortocircuito eléctrico inesperado que produce un Arco Eléctrico que puede causar daños significativos, incluida la muerte. El plasma de un Arco Eléctrico desarrolla grandes temperaturas, entre los 2800 °C a 20000 °C, esta temperatura puede causar quemaduras de grado mortal. La detonación que produce el Arco Eléctrico desarrolla una presión que puede llegar a los 1000 kg/m², ondas sonoras de hasta 140 dB con consecuencias de graves lesiones. Eventos como descargas eléctricas menores, electrocuciones que resultan a menudo en daños permanentes, daño tisular o la muerte (Casey et al., 2021). Por muchos años el término “Arco Eléctrico” ha sido utilizado dentro del vocabulario técnico eléctrico. Desde entonces para los diseñadores de sistemas de energía y los ingenieros electricistas, son un reto los cálculos sobre Arco Eléctrico. Los cálculos de los niveles de energía incidente y las distancias límites de un arco eléctrico son empleados para evaluar la condición de riesgo de peligro HRC (Hazard Risk Category) al que podría exponerse una persona que manipula equipos eléctricos. Los cálculos sobre arco eléctrico nos alertarán de cómo se comportará el sistema en un estado de cortocircuito. También, nos sirve como una herramienta para mejorar la seguridad del sistema, esto nos permite principalmente prevenir un incidente de alto riesgo (Nowak et al., 2021). Según Adam Reeves la causa de la magnitud de la corriente de arco depende de la configuración de electrodos, esto lo detalla en su siguiente artículo: La corriente de falla de arco calculada depende de la configuración del electrodo seleccionado. En general, VCBB (Conductores/electrodos verticales terminados en una barrera aislante dentro de una caja/recinto metálico), VCB (Conductores/electrodos verticales dentro de una caja/recinto metálico) y HCB (Conductores/electrodos horizontales dentro de una caja/ recinto metálico). Esto con todos los demás parámetros iguales se espera que durante una falla en la configuración VCBB; la barrera aislante contenga al plasma del arco en los extremos de los conductores. La contención del plasma de arco cerca

de la ubicación de la falla crea un arco de menor impedancia que da como resultado una mayor corriente de falla de arco. Durante una falla en las configuraciones de VCB o HCB, no hay barrera para contener el arco de plasma por lo que el arco puede alejarse de la ubicación de la falla, creando un arco más largo con mayor impedancia (Reeves et al., 2020). La IEEE ha creado el estándar IEEE 1584 para ser utilizado como una guía para los cálculos de Arc Flash. Este estándar se publicó en el año 2002 para calcular la energía incidente, siendo de mucha utilidad en el estudio de Arc Flash por más de 10 años. En noviembre de 2018 se publica una actualización importante en donde se revisan las ecuaciones de energía incidente y se tiene presente las dimensiones de la carcasa del equipo y el sentido de los electrodos en el momento de efectuar el cálculo. Las ecuaciones nuevas se derivaron de manera empírica en más de 1800 pruebas a diferencia del estándar primigenio que solamente examinó 300 casos (Jornacion, 2020). El problema para este trabajo de investigación se formuló mediante la siguiente pregunta general: ¿Cuál sería la configuración de electrodos más apropiada según la norma IEEE 1584-2018 que permitiría disminuir la energía incidente de arco eléctrico en baja tensión en la sub estación de 22.9/0.48 kV? Y de forma específica se planteó las siguientes preguntas: ¿Cuánto sería la energía incidente de arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos VCB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV?, ¿Cuánto sería la energía incidente de arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos VCBB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV?, Y ¿Cuánto sería la energía incidente de arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos HCB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV?. De la pregunta general se desprende la Hipótesis siguiente: La configuración de electrodos vertical VCB es la más apropiada, porque genera menor energía incidente en baja tensión en la sub estación de 22.9/0.48 kV.

Este trabajo de investigación se fundamenta en el manifiesto de Paul B. Sullivan, Daniel R. Doan y Kenneth S. Jones, donde mencionan que, en un análisis de energía incidente por arco eléctrico, se podrá examinar las partes del sistema eléctrico actual y se podrá conocer en qué partes la energía incidente por arco eléctrico está por encima de lo deseado. Tener conocimiento de esto, puede llevar al personal

encargado a sugerir cambios en los equipos y cambios en el modo de interactuar con los equipos. Esto con la finalidad de una menor exposición a la energía incidente. Variar configuraciones o cambiar dispositivos de protección a fin de tener un tiempo de eliminación de falla más corto. Utilizar dispositivos de protección de accionamiento remoto para tener al trabajador fuera del radio del arco eléctrico y eliminar prácticas operativas con equipos energizados porque la energía incidente por arco eléctrico podría ser bastante alta. Hay mucha información documentada sobre formas que se usan para disminuir la energía incidente por arco eléctrico (Sullivan et al., 2021).

La norma IEEE 1584-2002 incluye cálculos basados en una configuración de conductores en posición vertical para los diferentes tipos de equipos. La configuración de electrodo vertical que comúnmente encontramos en un gabinete de mando o en un tablero de conmutadores, tiene una falla de arco que va del extremo del bus al gabinete y luego hacia el usuario. Esta es una ruta de arco más larga, que con los electrodos configurados en posición horizontal. Los cálculos en IEEE 1584-2018 para energía incidente en la configuración de electrodos horizontales, considera cálculos con valores más altos que los cálculos considerados por la norma IEEE 1584-2002 para la misma configuración; porque la norma IEEE 1584-2018 incluye con mayor precisión la consideración de la dirección del arco y la energía de arco (Sullivan et al., 2021)

Entonces podemos establecer como objetivo general para esta investigación lo siguiente: Evaluar las configuraciones de electrodos según la norma IEEE 1584-2018 que permita disminuir la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión en la sub estación de 22.9/0.48 kV. Como objetivos específicos establecemos los siguientes enunciados: Evaluar la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos VCB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV, Evaluar la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos VCBB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV y Evaluar la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos HCB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV.

II. MARCO TEÓRICO

El estudio de Arco Eléctrico nos permite detectar y analizar las partes del sistema eléctrico donde la energía incidente es mayor. Esto nos permite determinar las fronteras de protección por arco, seleccionar de forma adecuada el equipo de protección personal (EPP) establecido por norma. También realizar ajustes en los equipos de protección eléctrica del sistema, mejorando la seguridad para el personal e instalaciones. Para esta investigación emplearemos las normas IEEE 1584-2018 y NFPA 70E-2021. También usaremos el software ETAP 20.00 para Análisis, simulación y Operación de Sistemas Eléctricos desarrollado por Operation Technology Inc.

Con el estudio de arco eléctrico podemos conocer un sistema eléctrico y las ubicaciones expuestas a peligros por causa de un arco eléctrico. El estudio tiene su fundamento en el entendimiento de los peligros. El cálculo de los valores de energía incidente, la protección de los equipos y la seguridad personal mediante la reducción de los niveles de energía incidente, que es una gran preocupación en los sistemas eléctricos industriales en etapa de diseño o en los que ya existen. Por este motivo, es importante investigar los diversos parámetros del sistema, que intervienen en los niveles de energía incidente para poder usar técnicas de mitigación de arco eléctrico (Khan & Aman, 2018).

Una de las causas de lesiones y muerte en incidentes por trabajos eléctricos es el arco eléctrico. Es importante una estimación de riesgos para proteger al personal de los peligros de un eventual suceso de arco eléctrico. Este artículo promueve un estudio de análisis de los efectos de los parámetros críticos que inciden en el nivel de energía incidente en distintos lugares de un sistema de potencia (Khan & Aman, 2018).

La IEEE y la NFPA hicieron el Proyecto de Investigación Colaborativo de Fenómenos de Arco Eléctrico, en colaboración con la industria, en el 2004 en apoyo a la investigación y pruebas, para facilitar la comprensión de los problemas relativos a los fenómenos de arco eléctrico. La información que se obtiene de los resultados de las pruebas sirve para diagnosticar con mucha precisión los riesgos relacionados con los arcos eléctricos de alta energía incidente; con esto se mejorarán los estándares de seguridad eléctrica, brindando garantías para el personal de trabajo. La norma IEEE 1584-2018 mejora los métodos para calcular la corriente de arco y la energía incidente

(Mohla et al., 2020).

Un arco eléctrico es una explosión de calor, gases calientes y metal fundido causada por un cortocircuito en conductores energizados. Un arco eléctrico puede ocurrir inesperadamente debido a un mal funcionamiento de un equipo, un error humano u otros eventos y causar lesiones corporales al personal de línea. Una quemadura de segundo grado puede ocurrir cuando la piel desnuda se expone a un valor de energía incidente tan bajo como 1,2 calorías/cm². Según un estudio de diez años realizado por Électricité de France S.A. que involucró a más de 120 000 empleados, las lesiones por arco eléctrico representaron el 77 % de todas las lesiones eléctricas registradas. Por lo tanto, los empleados de campo que realicen trabajos en líneas energizadas deben usar equipo de protección personal (EPP) clasificado más alto que la energía incidente de arco eléctrico disponible (medida en cal/cm²). La Norma 410A3 del Código Nacional de Seguridad Eléctrica (NEESC) establece que "el empleador debe asegurarse de que se realice una evaluación para determinar la exposición potencial a un arco eléctrico para los empleados que trabajan en o cerca de líneas, piezas o equipos energizados" (Kou et al., 2020).

El peligro del arco eléctrico radica en la exposición a las altas temperaturas, explosiones y enormes ráfagas de presión que puede sufrir un trabajador. causando quemaduras severas que pueden llegar a ser fatales quedando comprometida la empresa (Aguilar Pizarro, 2020).

APLICACIÓN DE SOFTWARE ETAP EN EL CASO DE ESTUDIO

Para el modelado de un sistema eléctrico, hacer simulación de las configuraciones de electrodos: VCB (Conductores/electrodos verticales dentro de una caja/recinto metálico), VCBB (Conductores/electrodos verticales terminados en una barrera aislante dentro de una caja/recinto metálico), HCB (Conductores/electrodos horizontales dentro de una caja metálica. /caja), fallas y cálculo de energía incidente. Para esto usaremos el software ETAP para evitar el error humano. Esto se sustenta con el artículo de Paul B. Sullivan, Daniel R. Doan y Kenneth S. Jones en el siguiente enunciado: Los modelados del sistema eléctrico para los cálculos de energía incidente se realizan ingresando los datos del sistema eléctrico en un paquete de software

comercial. Los seres humanos cometen errores, por lo que pueden existir algún error en los datos del modelo del sistema eléctrico creado en el paquete de software, un ejemplo: ingresar una longitud de cable de 10' por uno de 100' pies y pasar desapercibido. Actualizando el análisis de energía incidente de arco eléctrico en una instalación se puede hacer una comprobación del modelo e identificar y rectificar fallas en el modelo (Sullivan et al., 2021).

Se hace el modelado de una red eléctrica, de una pequeña instalación industrial, y, se determina la energía incidente a través de la simulación de un análisis de arco eléctrico teniendo como fundamento el estándar IEEE 1584 en el Programa Analizador de Transitorios Eléctricos (ETAP). Los resultados de la simulación se presentan, se grafican y se discuten. Luego se presentan diferentes técnicas de mitigación para disminuir la energía incidente. Los resultados ayudarían al personal de campo a conocer los parámetros que son decisivos para la energía incidente. Esto les ayudará a encontrar diferentes técnicas de mitigación contra eventos de arco eléctrico (Khan & Aman, 2018)

En su artículo de análisis de arco eléctrico basado en IEEE 1584 y NFPA 70E, en el 2021 M. Gopila enuncia lo siguiente: El estudio de Arco eléctrico (Arc Flash) se llevó a cabo utilizando la última versión ETAP 19.0 (Programa Analizador de Transitorios Eléctricos) desarrollado por Operation Technology Inc., EE.UU. ETAP es tan popular por su capacidad para modelar redes de sistemas de energía y analizar varios estudios y simulaciones en tiempo real (M.Gopila, Dr., Purushotham, S. Perumal, 2021).

Se realiza un análisis comparativo de los resultados de las pruebas con el estándar de la industria NFPA 70E y el método de análisis con el software ETAP. Un software líder en la industria que se utiliza para estudios de arco eléctrico. Las herramientas del software para el análisis de arco eléctrico como ETAP, desarrollan sus técnicas de análisis basadas en estándares como IEEE 1584 y NFPA 70E (Weimann et al., 2020).

FLUJO DE CARGA

El flujo de carga se utiliza para modelar determinadas condiciones operativas del sistema eléctrico. Los generadores, transformadores y barras de distribución están diseñados para operar por debajo de su capacidad nominal.

Los parámetros eléctricos como: voltaje, corriente y potencia del sistema de eléctrico no deben sobre pasar su capacidad nominal bajo ningún tipo de operación.

El flujo de carga es de suma importancia para la planeación de la red eléctrica y para el diseño de futuros proyectos de expansión en los sistemas eléctricos, de la misma forma mejora de las condiciones de operación de los sistemas eléctricos existentes. Los resultados que se obtienen al ejecutar un flujo de potencia es la magnitud y el ángulo del voltaje en cada punto del sistema, así como la potencia real y la potencia reactiva en todos los ramales (Tenelema, 2019).

El estudio de flujo de carga permite verificar el dimensionamiento de los equipos y de los alimentadores. Los resultados del estudio de flujo de carga son de vital importancia para la selección de los dispositivos de protección, esto nos permite garantizar la operación estable y segura del sistema eléctrico (Alvarez, 2020).

Para operar un sistema eléctrico de potencia en estado estable, tenemos que tener en cuenta los criterios a continuación:

- La generación debe asumir toda la demanda más las pérdidas de potencia que se generan en las líneas de por efecto joule.
- El voltaje de estar dentro de los valores nominales.
- Los generadores deben operar dentro de su valor nominal de potencia activa y potencia reactiva.
- Los transformadores y líneas no deben sobrepasar sus valores nominales. Esto con el propósito de no sobre cargarse(Tenelema, 2019).

ANÁLISIS DEL PERFIL DE TENSIÓN

La tolerancia para los voltajes nominales según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos en los puntos de entrega de energía, en todas las Etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos (NTCSE, 2010).

POTENCIA REACTIVA

La potencia reactiva es un parámetro importante en los sistemas de potencia ya que afecta la eficiencia del sistema porque no es energía útil. Reduce el factor de potencia del sistema y limita la capacidad de los generadores para proporcionar energía útil. Por lo tanto, es necesario entender y medir correctamente el fenómeno de la energía reactiva en los sistemas trifásicos.

Aunque en cualquier instalación eléctrica es necesaria la potencia reactiva, el objetivo principal es evitar pérdidas de potencia y costos económicos para esto tenemos que minimizar la energía reactiva. Desde un punto de vista técnico se requiere instalaciones sobredimensionadas y desde un punto de vista económico es el aumento del costo del consumo eléctrico (Graña-López et al., 2019).

CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

Actualmente todos los métodos de cálculo de arco eléctrico incluido la IEEE 1584 se centran en las corrientes de falla trifásicas sin limitarse a ningún estándar de cortocircuito específico. Cuando se usa IEEE 1584 para determinar la energía incidente del arco eléctrico, el primer paso es calcular la corriente de falla para una falla trifásica atornillada. IEEE 1584 no menciona el tipo de estándar utilizado para calcular la corriente de falla. Solo requiere que el tipo de falla sea trifásico, por lo tanto, el valor se puede calcular en base a cualquier estándar de cálculo de fallas (Majd et al., 2019).

La corriente de falla o corriente de corto circuito se define como la corriente transitoria que aumenta de forma instantánea cuando ocurre un cortocircuito u otra falla en el sistema eléctrico de potencia. Muchas de las fallas que suceden en la red trifásica, ocurren por cortocircuito entre líneas o línea y tierra. La falla de cortocircuito puede causar una elevación instantánea del nivel de corriente de hasta 10 veces la corriente de carga nominal (Joy et al., 2021).

La clasificación de corriente de cortocircuito (a menudo denominada corriente de cortocircuito o falla) se define en la National Electrical Code (NEC) como “la corriente de falla simétrica prospectiva a un voltaje nominal a la que se puede conectar un aparato o sistema sin sufrir daños que excedan los criterios de aceptación definidos”.

Este valor representa la cantidad máxima de energía que debería estar disponible en cualquier punto dado en un sistema eléctrico. Esta energía se puede manifestar de diversas formas. Por lo tanto, el equipo de distribución eléctrica debe seleccionarse para soportar este valor de energía calculado en cada punto del sistema. Si el sistema no está diseñado para manejar la energía disponible, se pueden producir daños graves a la vida o a la propiedad (Ec et al., 2019).

Si se sobrestima la corriente de cortocircuito, el tiempo de respuesta debido al retardo del dispositivo de disparo podría reducirse en función de la característica típica de la curva de tiempo-corriente de los dispositivos de disparo de los interruptores automáticos de baja tensión y las transiciones abruptas entre el tiempo de disparo (Instantaneous, short time and long time trips) que se producen. La subestimación de la longitud del conductor puede producir una subestimación de la duración del arco eléctrico dada la respuesta de disparo del interruptor automático, que es más rápida a niveles de corriente más altos (Ventruella, 2019).

Otro dato necesario para los cálculos de EI es el valor de las corrientes de cortocircuito trifásicas en faltas de impedancia cero. Esta información es necesaria para calcular la corriente del arco eléctrico y para identificar el tiempo de extinción del arco a través de las curvas de tiempo versus corriente del dispositivo de protección de zona en estudio (Com & Geração, 2019).

ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO

El objetivo del análisis de cortocircuito es determinar las cargas máximas a las que estarán sujetos los componentes del sistema bajo condiciones de falla. La determinación de las corrientes de cortocircuito en los sistemas de distribución de energía es tan importante como la determinación de las corrientes de plena carga con el fin de dimensionar y seleccionar los dispositivos de protección de forma correcta. Las corrientes de cortocircuito se calculan de modo que los disyuntores, fusibles u otros dispositivos de protección seleccionados interrumpan la falla sin averiarse (Moghbelli et al., 1993).

ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

La coordinación selectiva se define en el NEC como “la localización de una condición de sobre corriente para restringir las interrupciones al circuito o equipo afectado, lograda mediante la selección e instalación de dispositivos de protección contra sobre corriente y sus clasificaciones o configuraciones para el rango completo de sobre corriente disponible, desde sobrecarga a la máxima corriente de falla disponible, y para el rango completo de tiempos de apertura del dispositivo de protección contra sobre corriente asociados con esas sobre corrientes”. En otras palabras, los dispositivos de sobre corriente en un sistema eléctrico deben diseñarse idealmente para abrir el dispositivo más cercano a la falla o evento. Esto ayuda a evitar disparos molestos de partes no afectadas del sistema, lo que podría provocar tiempo de inactividad de la instalación (Ec et al., 2019).

Al trazar curvas de coordinación de protecciones, se deben considerar ciertos intervalos de tiempo entre las curvas de varios dispositivos de protección para garantizar el correcto funcionamiento secuencial de los dispositivos. Estos intervalos son necesarios porque los relés tienen tolerancias de sobre velocidad y curva, ciertos fusibles tienen características de daño y los interruptores automáticos tienen ciertas velocidades de operación. A estos intervalos se llaman márgenes (Sequeira, 2021).

El análisis de la energía incidente debe tener en cuenta las características del dispositivo de protección contra sobre corriente, su correcta selectividad y el tiempo de eliminación de fallas, incluido si esta en condición de mantenimiento (de Almeida, 2021).

ARCO ELÉCTRICO Y ENERGÍA INCIDENTE

EL ARCO ELÉCTRICO:

En el artículo sobre la introducción a la norma IEEE 1584-2018 los autores Daleep M, Wei-Jen L, Jim P, and Albert M, mencionan lo siguiente: Un arco eléctrico ocurre cuando el aislamiento no es suficiente para soportar el voltaje aplicado y la corriente eléctrica salta por un espacio de aire desde un conductor energizado a otro conductor o a tierra. Una vez que se establece un arco eléctrico, la ionización del aire y los materiales conductores, como el cobre y el aluminio, generan un plasma de alta temperatura y una nube molecular. Además, durante el evento de arco, la corriente crea fuerzas magnéticas sucesivas y repulsivas que expanden dramáticamente la nube de plasma. La regla de la mano derecha dicta la dirección de la nube de plasma; La expansión magnética, mezclada con un calentamiento rápido, es explosiva. Con la formación del arco, la energía eléctrica se transforma en calor, luz y una intensa presión. Las gotas de metal fundido y la toxicidad de los gases también causan muchos daños a las personas, como quemaduras, lesiones permanentes o la muerte (Mohla et al., 2020).

Un arco eléctrico se produce cuando un conductor energizado se abre, cuando hay fallas en el aislamiento, por errores humanos durante el funcionamiento del sistema eléctrico; estas son solo algunas de las causas que generan un arco. Por la energía térmica generada por el arco, la temperatura se eleva, produciendo una presión que impacta a su alrededor causando daños a la vida y a las instalaciones. Por este motivo las industrias cierran plantas y se producen pérdidas económicas y cese de personal. Por todo esto, es necesario conocer la energía incidente generada por el arco, para ubicar un área segura de trabajo y una selección correcta del equipo de protección personal (EPP). La energía incidente ocasionada por el arco se determina por la norma de cálculo contenida en el estándar IEEE 1584-2018, la selección del equipo de protección personal (EPP) y el área de trabajo seguro están estandarizados por la norma NFPA 70E (M.Gopila, Dr., Purushotham, S. Perumal, 2021).

Un arco eléctrico se forma cuando dos cuerpos conductores físicamente separados y energizados transfieren carga a través del aire. La pérdida de aislamiento entre conductores, por envejecimiento; factores medioambientales; errores humanos; y sobrecalentamiento, es uno de las principales causas de la formación del arco eléctrico. La corriente que fluye ioniza el aire entre los conductores, convirtiéndolo en plasma y provocando un rápido aumento de la temperatura. El plasma es el responsable de dar al arco su “destello” característico y contiene la mayor parte de la energía del arco (Zia et al., 2020).

Un arco eléctrico. Es la luz y el calor producidos por un arco eléctrico alimentado con suficiente energía eléctrica que puede dañar el equipo y lesionar al personal. Estas lesiones pueden variar desde quemaduras menores hasta quemaduras de tercer grado y posible muerte. Así como otras lesiones, como ceguera, pérdida de audición, daño a los nervios y paro cardíaco. Después de una serie de lesiones y muertes relacionadas con el arco eléctrico, una gran compañía de petróleo y gas respondió con una iniciativa corporativa: Las operaciones eléctricas seguras de arco eléctrico (Pragale et al., 2018).

CORRIENTE DE ARCO

El arco eléctrico puede producirse debido a cortocircuitos, a la interrupción de un flujo de corriente, fallas en equipos, con la disminución del nivel de aislamiento, sea por la humedad, por contaminación ambiental o por aproximación a una distancia menor del límite de acercamiento. Los arcos eléctricos generan una gran cantidad de energía instantáneamente y provocar quemaduras en el cuerpo, debido a la intensa radiación ultravioleta que irradian aún sin que exista contacto eléctrico (Código Nacional De Electricidad, 2006).

La intensidad de la corriente de arco es directamente proporcional a la corriente de cortocircuito disponible, del espacio entre barras (la distancia entre conductores en el punto de falla), de la configuración de electrodos, tamaño del gabinete y del voltaje del sistema eléctricos a intervenir (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018).

$$I_{\text{arc_Voc}} = 10^{(k1+k2\lg I_{\text{bf}}+k3\lg G)} (k4I_{\text{bf}}^6 + k5I_{\text{bf}}^5 + k6I_{\text{bf}}^4 + k7I_{\text{bf}}^3 + k8I_{\text{bf}}^2 + k9I_{\text{bf}} + k10)$$

Figura 2.1: Ecuación para el cálculo de corriente de arco según el voltaje. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.

LÍNEA DE TIEMPO DEL ARCO ELÉCTRICO

En los últimos 30 años, las prácticas de seguridad contra arco eléctrico han pasado de ser casi desconocidas a ser de suma importancia para las instalaciones eléctricas. Evitarlas se ha vuelto cada vez más costoso. La siguiente línea de tiempo demuestra esta tendencia:

- 1981, Ralph Lee publicó las primeras fórmulas para el cálculo de riesgos.
- 1991, el arco eléctrico fue definido por primera vez por OSHA.
- 1995, DuPont emprendió investigación y desarrollo de arco eléctrico.
- 1995, se desarrolló el método de prueba de arco ASTM.
- 1995, NFPA 70E definió un límite de arco eléctrico.
- 1998, ASTM desarrolló estándares para pruebas de PPE.
- 1999, Apareció en el mercado el PPE con clasificación de arco eléctrico.
- 2000, requisitos ampliados de arco eléctrico NFPA 70E.
- 2002, NEC comenzó a exigir etiquetas de advertencia de peligro de arco eléctrico.
- 2002, NEC comenzó a exigir etiquetas de advertencia de peligro de arco eléctrico.
- 2002, se publica por primera vez la Guía IEEE 1584 para realizar cálculos de peligro de relámpago de arco.
- 2004, NFPA 70E con referencia a IEEE 1584.
- 2011, OSHA multó al Servicio Postal de EE. UU. con \$6.2 millones por violaciones de arco eléctrico.
- 2011, una víctima de arco eléctrico llegó a un acuerdo por \$ 13,9 millones con Reading Materials, Inc.
- 2013, un trabajador lesionado recibió una indemnización de \$ 7 millones que

involucraba a Qualcomm.

- 2014, IEEE 45.5, Práctica recomendada de IEEE para instalaciones eléctricas a bordo: Publicación de consideraciones de seguridad.
- 2018, revisión de IEEE 1584 publicada, que incorpora mejoras resultantes de pruebas y análisis adicionales (Ayers, 2022).

Configuración de electrodos: La orientación y disposición de los electrodos utilizados en las pruebas realizadas para el desarrollo del modelo (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018).

Peligro de relámpago de arco: Fuente de probables daños a la salud ligados con la generación de energía causada por un arco eléctrico. Nota informativa N°1: La probabilidad de que ocurra un evento por arco eléctrico se incrementa cuando los conductores eléctricos están energizados. Esto si una persona está interactuando con algún equipo eléctrico de tal manera que podría generar un arco eléctrico. No es probable que ocurra un evento de arco en condiciones normales de operación si el equipo energizado está cerrado, que se haya instalado de forma correcta y mantenido de forma ideal (NFPA 70E, 2021).

Riesgo de arco eléctrico: se cuantifica en términos de energía incidente (calorías por centímetro cuadrado, cal/cm²). Se produce un rápido calentamiento del aire, en la proximidad de la falla de arco, debido al incremento de la presión y la temperatura. En consecuencia, se produce un arco eléctrico. Esto libera calor intenso, luz y ondas de presión con un sonido fuerte. El acero fundido se extiende a grandes distancias y causa daños completos al equipo y lesiones graves o incluso la muerte del personal que trabaja. Las lesiones pueden resultar de ondas de choque, radiaciones, gases inhalados, metralla que vuela y luz cegadora (Khan & Aman, 2018).

ENERGÍA INCIDENTE

La cantidad de energía térmica proyectada en un área específica, a determinada distancia de la fuente generada durante un evento de arco eléctrico. La energía incidente se expresa típicamente en calorías por centímetro cuadrado (cal/cm²) (NFPA 70E, 2021).

Es un término que se utiliza para nominar la energía liberada cuando se produce un arco eléctrico. Hay muchos trabajadores que sufren quemaduras o incluso la muerte a causa del arco eléctrico., En los EE. UU., cada día hubo de 5 a 10 eventos de explosión originados por arco eléctrico, igualmente en la construcción naval, 6 incendios de embarcaciones por fallas eléctricas por año, al igual que en Indonesia (Mashar et al., 2020).

La cantidad de energía térmica proyectada en un área, a determinada distancia de la fuente, producida durante un suceso de arco eléctrico. Nota 1: La energía incidente se calcula a la distancia de trabajo. La energía incidente incrementa a medida que se acorta la distancia desde la fuente de arco potencial, y la energía incidente disminuye a medida que aumenta la distancia. Ver: distancia de trabajo. Nota 2: Las unidades utilizadas para medir la energía incidente son julios por centímetro cuadrado (J/cm²) o calorías por centímetro cuadrado (M.Gopila, Dr., Purushotham, S. Perumal, 2021).

Los gráficos de energía constante del área C pueden tener en cuenta múltiples configuraciones de electrodos, así como variaciones en los parámetros de entrada del modelo de arco eléctrico. Los gráficos del área C ayudan a reducir la cantidad de escenarios de análisis requeridos durante un análisis de arco eléctrico formal. Además, tal como lo hacían antes las líneas C o las curvas C, los gráficos del área C pueden ser los únicos puntos de referencia del análisis de arco eléctrico para algunos sistemas en los que, debido a otros factores, es posible que no se lleve a cabo un análisis formal (Marroquin & Parsons, 2020).

La energía incidente es la energía liberada por un arco eléctrico. Esta energía incidente determinará el efecto del arco eléctrico, a mayor energía incidente, mayores efectos. Los factores que determinan la tasa de energía incidente son el voltaje, la corriente de falla, la distancia desde el punto de falla y la duración del arco. Para determinar la energía incidente, se necesita conocer la corriente de falla y la corriente de arco

generada (Mashar et al., 2020).

$$E_{\leq 600} = \frac{12.552}{50} T \times 10^{\left(k1 + k2 \lg G + \frac{k3 I_{\text{arc}, 600}}{k4 I_{\text{bf}}^7 + k5 I_{\text{bf}}^6 + k6 I_{\text{bf}}^5 + k7 I_{\text{bf}}^4 + k8 I_{\text{bf}}^3 + k9 I_{\text{bf}}^2 + k10 I_{\text{bf}}} + k11 \lg I_{\text{bf}} + k12 \lg D + k13 \lg I_{\text{arc}} + \lg \frac{1}{CF} \right)}$$

Figura 2.2: Ecuación para el cálculo de energía incidente según el voltaje. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.

Análisis de energía incidente: Es una evaluación del riesgo de arco eléctrico que se utiliza para predecir la energía incidente de un arco eléctrico para un conjunto específico de condiciones (NFPA 70E, 2021).

Límite de arco eléctrico: Límite de aproximación desde una fuente de arco en el que la energía incidente equivale a 1,2 cal/cm² (5 J/cm²). Nota informativa: Según el modelo de lesiones por quemaduras cutáneas de Stoll, la aparición de una quemadura de segundo grado en la piel sin protección es probable que ocurra con una exposición de 1,2 cal/cm² (5 J/cm²) durante un segundo (NFPA 70E, 2021).

Límite de acercamiento limitado: Límite de aproximación a una distancia de un conductor eléctrico energizado expuesto o parte de un circuito dentro del cual existe un riesgo de descarga eléctrica (NFPA 70E, 2021).

Límite de acercamiento restringido: Distancia desde un conductor eléctrico energizado expuesto o una parte del circuito dentro del cual existe una mayor probabilidad de descarga eléctrica, debido a un arco eléctrico combinado con un movimiento involuntario (NFPA 70E, 2021).

Traje de arco eléctrico: Es un equipo completo de ropa con clasificación de arco que cubre todo el cuerpo, excepto las manos y los pies. Nota informativa: un EPP de arco eléctrico puede incluir pantalones y overoles, una chaqueta o un overol, una capucha tipo apicultor equipada con una careta anti arco y zapatos dieléctricos de cuero (NFPA 70E, 2021).

Para tener protección contra los peligros de arco eléctrico, se utiliza EPP. El EPP es la ropa que usa el personal de trabajo y es necesario cuando se trabaja cerca de

equipos energizados, aunque existan las prácticas de trabajo seguro y el mantenimiento oportuno de los equipos reducen la ocurrencia de una falla de arco, los trabajadores que están expuestos a peligros deben estar protegidos debidamente. Con conocimiento del nivel de energía del incidente, el EPP puede incluir ropa resistente a las llamas, trajes arco resistente, capuchas contra arcos, casco, gafas de seguridad, zapatos, guantes, careta, etc. (Khan & Aman, 2018).

Es obligación del empleador garantizar un entorno seguro y comprobar si el personal que trabaja con equipos eléctricos sea calificado, esto lo podemos evidenciar en el siguiente artículo. En relación con los peligros potenciales y su prevención, existen muchos códigos y normas, que se actualizan con el tiempo. De acuerdo con la Ley de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), es responsabilidad exclusiva de los empleadores proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable para los empleados. Los empleadores deben garantizar el cumplimiento de todas las normas aplicables de OSHA. Por esta razón, el Código de Regulaciones Federales (CFR) es referido por OSHA. Los empleadores son responsables de calificar el lugar de trabajo para comprobar si existen o pueden existir peligros y también deben asegurarse de que todo el personal que trabaja use el EPP adecuado para su protección. Además, los trabajadores expuestos al equipo energizado mientras trabajan, deben estar calificados y bien capacitados para las tareas que están realizando y deben usar el EPP apropiado (Khan & Aman, 2018).

RESTRICCIONES Y ALCANCE DEL ESTÁNDAR IEEE 1584 2018

El estándar 1584 2018 aplica para conductores y equipos eléctricos que trabajan con voltajes trifásicos de corriente alterna (CA) de 208 V a 15 kV. Los cálculos para sistemas de CA monofásicos y sistemas de corriente continua (CC) no forman parte de este estándar, pero se brindan algunas pautas y referencias para esas aplicaciones. En este estándar no se incluyen recomendaciones sobre equipos de protección personal (EPP) para mitigar los peligros de arco eléctrico (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018).

Las predicciones de energía incidente han acelerado la comprensión de los efectos térmicos del arco eléctrico. Sin embargo, el peligro de la presión del estallido del arco

no ha recibido el mismo nivel de estudio. IEEE 1584 no incluyó la presión de explosión del arco en su modelo de evaluación de peligros porque los artículos publicados tenían una aplicación práctica limitada aparte del diseño de equipos que condujo a dispositivos de conmutación y centros de control de motores (MCC) resistentes al arco. Otra razón por la que IEEE 1584 no abordó la presión de explosión del arco fue que, anecdóticamente, hubo muy pocas lesiones graves (Hoagland et al., 2020).

CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE

En el cálculo de la energía incidente de un equipo específico se utilizarán las ecuaciones mencionadas en el capítulo 4 de la Norma IEEE 1584 - 2018. Es importante tener en cuenta que se pueden encontrar varias ubicaciones de posibles arcos dentro de un solo equipo o instalación. Los cálculos de energía incidente deben realizarse en cada ubicación de posibles arcos. Para determinar la energía incidente de mayor magnitud debemos situarnos en las condiciones más extremas (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018).

Para proporcionar la base teórica y los antecedentes para el cálculo de la energía del arco eléctrico, el estándar IEEE 1584 procede como una referencia elaborada. Contiene las fórmulas que se pueden usar para calcular la energía incidente en un evento de arco eléctrico. Una vez que se desarrolla el modelo del sistema de potencia con todos los datos requeridos definidos, el software ETAP puede hacer los cálculos de forma muy confiable (Khan & Aman, 2018).

CONFIGURACIÓN DE ELECTRODOS Y DIMENSIONES DEL GABINETE

Los métodos de predicción del riesgo de arco eléctrico se han vuelto más sofisticados debido a que el conocimiento sobre el fenómeno del arco eléctrico ha avanzado desde la publicación de la norma IEEE 1584-2018. Ha agregado parámetros para una estimación más precisa de la energía incidente del arco eléctrico, la corriente de arco y el límite de protección. Los parámetros en los modelos de estimación actualizados incluyen la configuración de electrodos, el voltaje de circuito abierto, la corriente de falla atornillada, la duración del arco, el ancho del espacio, la distancia de trabajo y la dimensión del gabinete (Zia et al., 2020).

A la geometría del electrodo siempre se le denomina orientación del electrodo, distancia entre electrodos y configuración del equipo. Las diferentes geometrías de los electrodos pueden dar como resultado diferentes interacciones electromagnéticas del flujo de corriente entre los electrodos, lo que a su vez, provoca comportamientos de arco muy diferentes. Por lo tanto, para comprender el efecto correspondiente en el nivel de riesgo térmico (densidad de energía incidente) del arco eléctrico, las pruebas que más se asemejan a la geometría real del electrodo deben estar bien diseñadas (Zhang et al., 2020).

Open-circuit voltage (V)	Enclosure dimensions (H × W × D)	
	SI units (metric)	Imperial units
600	508 mm × 508 mm × 508 mm	20 in × 20 in × 20 in
2 700	660.4 mm × 660.4 mm × 660.4 mm	26 in × 26 in × 26 in
14 300	914.4 mm × 914.4 mm × 914.4 mm	36 in × 36 in × 36 in

Tabla 2.1: Límites de dimensiones del recinto. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.

Correlacion entre el equipo real y la configuracion de electrodos.

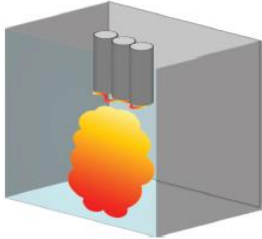


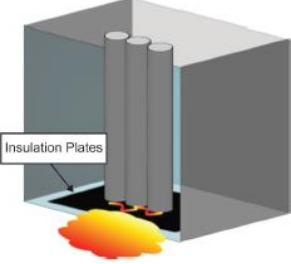


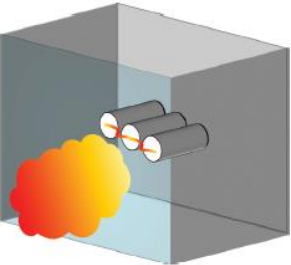


Tipo	Descripción	Configuración de electrodos en pruebas		Configuración en Equipamiento
VCB	Conductores/electrodos verticales dentro de una caja/recinto metálico			
VCBB	Conductores/electrodos verticales terminados en una barrera aislada dentro de una caja/recinto metálico.			
HCB	Conductores/electrodos horizontales dentro de una caja/ recinto metálico.			

Figura 2.3: Configuración de electrodos. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.

SISTEMAS DE MITIGACIÓN DE ARCO

A diferencia de las fallas por cortocircuito en los sistemas de energía, las fallas por arco eléctrico producen una luz intensa durante los eventos de falla. La tecnología de detección de luz ha estado en desarrollo para detectar fallas de arco desde la década de 1980. Actualmente, la fibra óptica y los sensores puntuales son dos tipos de sensores de luz que se aplican, junto con el mecanismo de sobre corriente simultánea, para los relés de arco eléctrico. Debido a las características de los sensores de luz, la sensibilidad y la confiabilidad del relé pueden verse afectadas por la luz ambiental. Este artículo propone un nuevo enfoque para la detección de fallas por arco eléctrico mediante el uso del espectro de luz. La radiación electromagnética significa que diferentes elementos emitirían espectros con longitudes de onda únicas cuando sus átomos están excitados. Luego, los elementos pueden identificarse si se detecta un espectro de emisión específico durante el período de excitación. En general, el cobre y el aluminio se usan comúnmente para conductores. Al examinar el espectro de luz, el arco eléctrico se puede detectar con precisión y rapidez. En este estudio, el cobre y el aluminio se aplican como conductores. El espectro de luz para ambos materiales se mide y registra mediante un espectrómetro óptico durante los incidentes de arco. Los resultados muestran que la precisión y la confiabilidad de la operación de detección de fallas por arco eléctrico basada en la luz se pueden mejorar mediante el uso del método propuesto (Zhao et al., 2020).

Los sistemas de extinción de arco se dividen en dos categorías: sistemas que crean una ruta de corriente de menor impedancia al aplicar una falla atornillada al equipo y sistemas que crean una ruta de corriente de menor impedancia al aplicar una falla de arco controlado al equipo. Los sistemas al momento de una falla atornillada dibujarán la corriente de falla pico máxima cuando se activen. La corriente de falla pico máxima generará grandes tensiones en las terminaciones de los cables, los refuerzos de las barras y los devanados del transformador aguas arriba y podría causar daños a los componentes que han envejecido o que ya han sufrido múltiples eventos de cortocircuito (Burns et al., 2019).

Dos tiristores conectados de manera opuesta pueden actuar como un eliminador de arco de emergencia, lo que extinguirá al arco en menos de 0,7 ms. El trabajo de los tiristores como eliminadores de arco se vuelve más difícil en circuitos donde se presenta una alta inductancia entre la fuente de alimentación y el lugar de aparición de la falla por arco. El tiempo de extinción del arco aumenta con el aumento de la inductancia llegando al valor de 4,6 ms. A pesar de la gran inductancia en serie del objeto afectado por la perturbación del arco y la extensión significativa del tiempo necesario para extinguir el arco, el eliminador de arco cumple su propósito, incluso si el mayor tiempo de combustión del arco hace que se vuelva a encender en la siguiente mitad de onda eléctrica (Nowak et al., 2019).

Estos requisitos cubren los equipos destinados a extinguir fallas de arco mediante la creación de una ruta de corriente de menor impedancia, ubicada dentro de un compartimiento controlado, para hacer que la falla de arco se transfiera a la nueva ruta de corriente. Estos requisitos cubren equipos que pueden ser unidades completamente cerradas o que están destinados a ser instalados dentro de equipos de distribución de energía. Estos requisitos cubren equipos clasificados hasta 52 kV AC como máximo (UL 2748, 2020).

Los últimos sistemas de extinción de arco cumplen con el standard UL 2748 - 2017 (Arcing Fault Quenching Equipment) y, como se mencionó anteriormente, limitan la corriente de falla máxima durante la operación para reducir la tensión en el equipo de distribución de energía aguas arriba. Dichos sistemas se denominan dispositivos de extinción de arco limitadores de corriente y su funcionamiento se puede dividir en tres partes principales (Burns et al., 2019):

- Detección de arco.
- Transferencia de arco.

Detección de Arco

Todos los arcos eléctricos tienen características estándar que los hacen detectables. Los sistemas de relés de detección de arco eléctrico detectan a cualquier persona o una combinación de más de una de las siguientes características:

1. Alta corriente
2. Luz intensa
3. Voltaje errático
4. Onda de presión

Las características más comunes de las fallas de arco son alta corriente y luz. Si la corriente se monitorea sin luz, el relé puede identificar incorrectamente una falla de cortocircuito aguas abajo como una falla de arco interno, lo que hace que el interruptor principal se dispare sin coordinarse con los dispositivos aguas abajo. Si la luz se usa sin corriente, el relé puede ser propenso a disparos falsos debido a la luz ambiental o los flashes de las cámaras. Si el relé registra la luz y la corriente simultáneamente, esto se designaría como una falla de arco y el relé enviaría una señal de disparo al dispositivo de protección contra sobre corriente, como un interruptor principal. Sin embargo, los interruptores automáticos que se interrumpen en el aire y algunos fusibles plantean un problema con este método de detección de arco eléctrico (Burns et al., 2019).

Transferencia de Arco

Los dispositivos de extinción de arco limitadores de corriente funcionan según el principio de la ley de corriente de Kirchoff, al igual que los dispositivos de extinción de fallas atornillada. Si se introduce en paralelo una ruta de corriente con menor impedancia al circuito con falla, entonces la corriente se divide. Si la impedancia de la rama agregada (Quench Dev.) es lo suficientemente baja, el voltaje en el circuito de falla de arco se reduce hasta el punto en que la falla de arco se extingue (Burns et al., 2019).

III. METODOLOGÍA

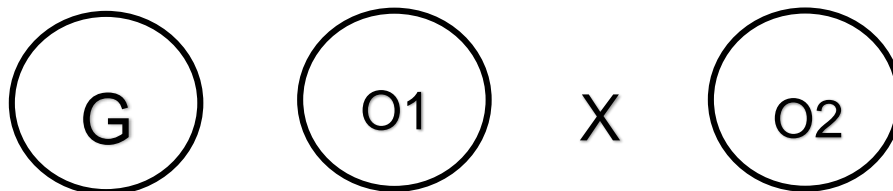
3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación que utilizamos en el presente trabajo es del tipo Aplicada. Los planteamientos son útiles para: Evaluar, Comparar, Interpretar, Establecer precedentes, Determinar causalidad y sus Implicaciones. Esta estructura es válida para la investigación aplicada (Roberto, 2015). La recolección de datos y el análisis es del tipo cuantitativo.

Diseño de investigación

El diseño es Experimental de tipo Pre Experimental porque no usamos grupo de control. Los diseños experimentales son utilizados cuando el investigador quiere establecer el posible efecto de una causa que se manipula, para establecer influencias (Roberto, 2015). La investigación al ser cuantitativa tiene un alcance de corte Explicativo, donde veremos qué efecto tiene una variable sobre otra.



Dónde:

G: Grupo.

X: Estímulo.

O1: Observación de la variable dependiente pre estímulo.

O2: Observación de la variable dependiente post estímulo.

3.2 Variables y operacionalización

Variable Independiente: “Configuración de electrodos”.

La Configuración de Electrodo ya sea vertical o horizontal. Esta variable es de categoría cualitativa. La variable según por el tipo de medición de su escala es NOMINAL.

Variable Dependiente: “Energía Incidente”.

La intensidad de la Energía Incidente va a ser consecuencia de la configuración de los electrodos. Esta variable es de categoría cuantitativa. La variable según por el tipo de medición de su escala es de RAZÓN porque está relacionada al cero absoluto.

3.3 Población, muestra y muestreo

Población:

Este trabajo de investigación tiene un alcance para todas las subestaciones que cuenten con el nivel de tensión de 22.9/0.48kV de una unidad minera ubicada en Cajamarca, las cuales están conformadas por 36 subestaciones.

- **Criterios de inclusión:** Todas las subestaciones que cuenten con nivel de tensión de 22.9/048kV dentro de la unidad minera ubicada en Cajamarca.

Muestra: Para la muestra tomamos 1 subestación de 22.9/0.48kV dentro de la unidad minera ubicada en Cajamarca.

Muestreo: En esta investigación se usó la técnica de Muestreo No Probabilístico por Conveniencia.

Unidad de análisis: Para la unidad de análisis tomamos 1 subestación de 22.9/0.48kV dentro de la unidad minera ubicada en Cajamarca.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Para esta investigación usamos la técnica de Observación y Análisis Documental. Donde fuimos a la subestación para extraer los datos de los equipos eléctricos, como marca y características del interruptor, seteos de protección y estado de condición de los equipos.

Instrumentos de recolección de datos

Se creó un registro como base de datos para ingresarlo al software ETAP para el análisis de flujo de carga, simulación de corto circuito, coordinación de protecciones y cálculo de la Energía Incidente.

3.5 Procedimientos

Para este estudio se aplicó la recolección de datos creando un registro de todo el sistema eléctrico de la subestación. En la segunda etapa de desarrollo se ingresó los datos del registro al software ETAP para su análisis, simulación y cálculo de la energía incidente. Esto nos permitió llegar a conclusiones donde las contrastamos con los antecedentes.

3.6 Método de análisis de datos

Para el análisis de la información de esta investigación usamos el software ETAP para el análisis del flujo de carga del sistema eléctrico, simulación de corto circuito, coordinación de protecciones y cálculo de la energía incidente. También usamos el programa Excel para la generación de tablas numéricas.

3.7 Aspectos éticos

La investigación contemplo la buena conducta y el respeto a las citas de los artículos aquí mencionados. También se respetó la normativa de la guía vigente de la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA

Se realizó un análisis de flujo de carga del sistema eléctrico de la mina ubicada en Cajamarca, donde está incluida la sub estación de 22.9/0.48kV - Bus 3000-EES-2-02_0.48. Con el propósito de evaluar la capacidad de carga del sistema eléctrico; se evaluaron los perfiles de tensiones en los buses principales (Barras alimentadoras de 60 kV y 220 kV). Estas simulaciones se realizaron mediante el software Etap 20.00.0. el cual puede ejecutar cálculos de flujo de carga mediante las normas ANSI o IEC. Para nuestro caso configuramos la norma ANSI.

Para este análisis de flujo de carga se configuraron límites de alarma para evaluar el comportamiento del sistema eléctrico de la siguiente forma:

Bus Voltage	Critical	Marginal
Over Voltage	105%	102%
Under Voltage	95%	98%

Tabla: 4.1.1 Límites de alarma y alerta de ETAP 20.00. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla observamos las principales barras alimentadoras de la mina ubicada en Cajamarca, pudiendo visualizar que se encuentran en estado normal.

ID	kV	kV	MW	Amp	% PF	% Generation
BUS 60 kV	60.07	100.90%	33,014	314.8	97.95	0
BUS 220 kV	219.9	99.97%	20.340	53.4	99.97	0

Tabla: 4.1.2 Perfil de tensiones de los principales buses alimentadores de mina ubicada en Cajamarca. Fuente: Elaboración propia.

Tambien se analizo la barra de la sub estacion de 22.9/0.48 kV, esto con la finalidad de poder verificar el estado de funcionamiento de la barra 3000-EES-2-02_0.48, encontrando los siguientes valores normales:

ID	kV	kV %	MW	Amp	PF %	Generation %
3000-EES-2-02_0.48	0.476	99.15	1.245	1510	82.47	0

Tabla: 4.1.3 Perfil de tension del bus de 0.48kV. Fuente: Elaboración propia.

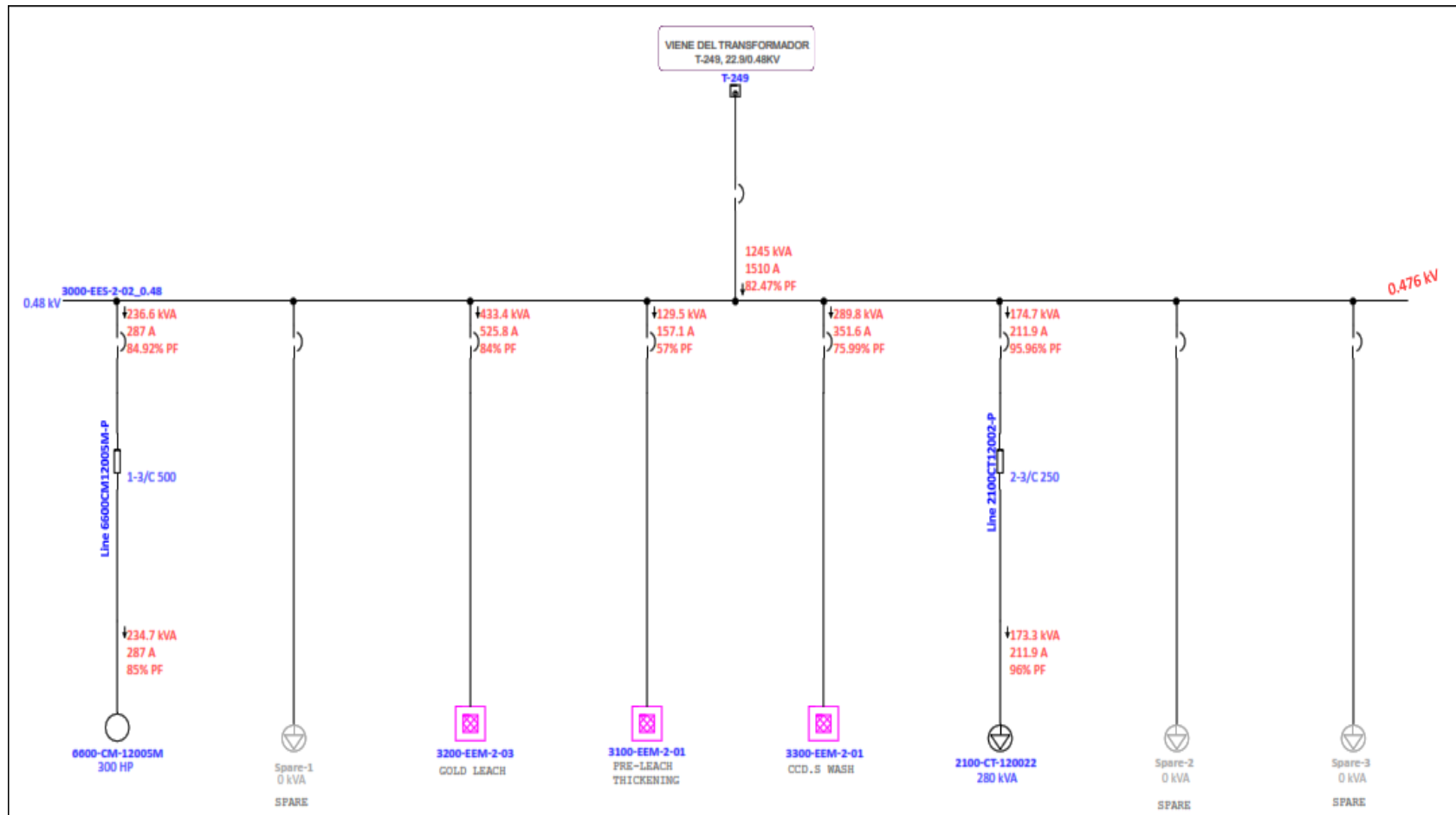


Figura 4.1.1: Flujo de potencia de la barra 300-EES-2-02_0.48 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: ETAP 20.00

PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUB ESTACIÓN DE 22.9/0.48KV

Transformador T-249

ID	Marca	kV	A	MW	IMP. %	Vector Group	Year
T-249	SCHAFFNER	22.9/0.48	63.03/3007	2.5	7.03	DYn1	2006

Tabla: 4.1.4 Especificaciones técnicas del transformador de 22.9/0.48 Kv.

Fuente: Elaboración propia.

Conductor

ID	kV	Size	Type	Impedance	Max kA	Length km
F-248	25	1/0	CU	133%	13.75	0.2

Tabla: 4.1.5 Especificaciones técnicas del conductor de la subestación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.

Interruptor IN-249

ID	Marca	Modelo	kV max.	A	Hz	Inst Trip	Year
IN-249	Cutler-Hammer	MDS-632	0.6	3200	50/60	65 kA	2007

Tabla: 4.1.6 Especificaciones técnicas del interruptor alimentador de la subestación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.

Bus 3000-EES-2-02_0.48

ID	Type	kV	Amp	Symmetrical	Gap between conductor / Buses	Gap between conductor L-G	Electrode configuration
3000-EES-2-02_0.48	CU	0.5	4000	65 kA	32 mm	51 mm	VCB

Tabla: 4.1.7 Especificaciones técnicas del Bus de 0.48 Kv de la subestación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.

**RESULTADOS DEL FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE MINA
UBICADA EN CAJAMARCA.**

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %	Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
1270-MC-13001_4.16	4.16	98.37	3100-MC-08305_0.48	0.48	98.38
1270-US-13001SG_4.16	4.16	98.38	3127-MC-18002_0.48	0.48	99.78
1289-MC-12050_4.16	4.16	97.58	3127-MC-18003	4.16	99.24
1289-US-12052SG_0.48	0.48	98.03	3127-MC-18003_0.48	0.48	99.76
1300-EEM-2-01_0.48	0.48	98.53	3127-MC-18006_0.48	0.48	99.92
1410-MC-09108_0.48	0.48	98.85	3127-SG-18001_4.16	4.16	100.9
1410-MC-16001_4.16	4.16	98.05	3127-SG-18002_0.48	0.48	100
1410-MC-16002_0.48	0.48	98.06	3190-MC-19001_0.48	0.48	100.02
1760-MC-15001A_0.48	0.48	97.91	3190-MC-22001	0.48	96.83
1761-GE-22002	0.48	99.67	3190-SG-19001_22.9	22.9	101.46
1761-SB-22001_0.48	0.48	99.65	3190-SG-19002_0.48	0.48	100.08
1761-SB-22001_B1	0.48	99.68	3190-SG-19003_0.48	0.48	101.46
1761-TD-22001	0.48	99.7	3190-US-2201_4.16	4.16	98.79
1761-TTA-22001	0.48	99.67	3190-US-2201_22.9	22.9	101.52
1820-SG-11201_0.48_BUS1	0.48	97.98	3200-EEM-2-01_0.48	0.48	98.96
1820-SG-11201_0.48_BUS2	0.48	97.92	3200-EEM-2-02_0.48	0.48	98.5
1820-SG-11301_0.48	0.48	98.91	3200-EEM-2-03_0.48	0.48	98.74
1820-SG-11302_0.48	0.48	98.91	3200-MC-08306_4.16	4.16	99.26
2000-EEMT-2-01_0.48	0.48	100.61	3200-MC-08312_0.48	0.48	101.06
2000-EES-2-01_0.48	0.48	100.82	3200-MC-08313_0.48	0.48	100.81
2000-EES-2-02_0.48	0.48	101.28	3200-MC-08314_4.16	4.16	101.26
2052-MC-501_4.16	4.16	99.3	3200-MC-08315_0.48	0.48	101.24
2052-MC-502_4.16	4.16	99.3	3200-MC-08316_0.48	0.48	101.05
2052-SG-501_4.16_BUS1	4.16	99.31	3200-MC-09307	4.16	99.25
2052-SG-501_4.16_BUS2	4.16	99.31	3200-MC-12001	4.16	99.23
2052-SG-502_0.48	0.48	98.74	3289-MC-10101_0.48	0.48	98.59
2052-SG-502_0.48.	0.48	98.74	3289-MC-11201_0.48	0.48	98.82
2100-EEM-2-01_0.48	0.48	101.06	3291-MC-11102_0.48	0.48	98.82
2100-EES-5-01_4.16	4.16	100.26	3291-MC-11011_0.48	0.48	98.82
2100-MC-08216_4.16	4.16	99.31	3291-SG-11201_0.48	0.48	98.82
2100-MC-08217_0.48	0.48	98.91	3292-PK-11602	0.48	98.82
2100-MC-09501MC_4.16	4.16	99.35	3300-EEM-2-01_0.48	0.48	98.87
2100-MC-09502_0.48	0.48	98.9	3310-MC-12001_0.48	0.48	100.73
2100-SG-09501	4.16	99.35	3310-US-12001_0.48	0.48	100.73
2126-MC-12001_4.16	4.16	98.41	3410-EEM-2-01_0.48	0.48	100.42
2127-MC-511_4.16	4.16	100.83	3410-MC-21001_0.48	0.48	100.75
2127-MC-511_4.16(Ext)	4.16	100.83	3410-MC-21002_0.48	0.48	100.66
2127-MC-511_4.16(Ext)2	4.16	97.82	3410-MC-21003_0.48	0.48	100.74
2291-MC-10101_0.48	0.48	99.23	3410-SG-21001_0.48	0.48	100.76

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %	Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
BB2	0.48	97.87	L-203/L-204 [E-37]	22.9	100.16
Bom LQ2_22.9	22.9	101.28	L-203/L-204 [E-46]	22.9	100.01
BOM.LQ1_0.48	0.48	99.95	L-204 [E-14]	22.9	101.23
Bombas Raff YV_0.23	0.23	98.53	L-204 [E40]	22.9	100.12
BUS A_0.48	0.48	97.89	L-205 [E-34]	22.9	100.86
BUS B_0.48	0.48	97.89	L-205/L-206 [E-01]	22.9	101.77
Bus3	22.9	97.47	L-205/L-206 [E-51]	22.9	100.01
Bus4	4.16	95.54	L-206 [E-39]	22.9	100.55
Bus10	220	99.97	L-206 [E-48]	22.9	100.13
ByPass&Man/TunCN_22.9	22.9	101.28	L-207 [E-06]	22.9	101.64
CA.NI_22.9	22.9	98.53	L-207 [E-07]	22.9	101.59
CAMP.OP.A_0.23	0.23	100.11	L-207 [E-11]	22.9	101.53
CAMP.OP.A_22.9	22.9	100.54	L-207 [E-18]	22.9	101.4
CAMP.OP.B_0.4	0.4	100.19	L-207 [E-23]	22.9	101.32
CAMP.OP.B_22.9	22.9	100.54	L-207 [E-28]	22.9	101.19
CAMP.OP.C_0.4	0.4	100.19	L-207 [E-35]	22.9	101.14
CAMP.OP.C_22.9	22.9	100.54	L-207 [E-58]	22.9	100.96
CamReal_0.23	0.23	101.19	L-207 [E-59]	22.9	100.95
CE.COLL_0.23	0.23	99.07	L-207 [E-60]	22.9	100.95
CEN. TERMICA PAUELA	22.9	101.77	L-207 [E-61]	22.9	100.95
CHINO 4.16	4.16	97.98	L-207X [P-03]	22.9	101.52
CHINO 8080_0.48	0.48	97.98	L-208 [E-08]	22.9	101.37
CHINO 8084_0.48	0.48	97.68	L-208 [E-10]	22.9	101.44
CHL_0.48	0.48	95.67	L-208 [E-012]	22.9	101.44
CHQPW 15-2_0.48	0.48	98.74	L-209 [E-03]	22.9	101.46
CHQPW 15-4_0.48	0.48	98.74	L-209 [E-07]	22.9	101.46
CHQPW 15-10_0.48	0.48	98.32	L-209 [E-012]	22.9	101.46
CHQPW 15-21_0.48	0.48	100.26	L-210/L-211 [E-01]	22.9	101.76
CNDW1_22.2	22.9	101.16	L-210/L-211 [E-72]	22.9	99
COC.CENTRAL_0.23	0.23	100.06	L-212 [E-02]	22.9	101.36
COC.CENTRAL_22.9	22.9	100.54	L-212 [E-03]	22.9	101.36
COM.HOPP_0.23	0.23	100.95	L-212 [E-06]	22.9	101.33
Com.Hopp_23	22.9	101.46	L-212 [E-07]	22.9	101.32
COME.BAS_0.23	0.23	100.41	L-212 [E-08]	22.9	101.31
COME.BAS_22.9	22.9	100.95	L-212 [E-11]	22.9	101.31
CRIFCHG_22.9	22.9	98.95	L-213 [E-01]	22.9	100.7
DERV. T-257/258_22.9	22.9	101.46	L-213 [E-02]	22.9	100.67
DERV_L-21743	22.9	99.53	L-215 [E-20]	22.9	99.05
ETP7_22.9	22.9	100.02	L-215 [E-23]	22.9	98.99

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %	Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
EWTP2_22.9	22.9	98.9	L-215 [E-25]	22.9	98.92
EWTPLQ_22.9	22.9	101.28	L-215 [E-34]	22.9	98.53
FH5/7_22.9	22.9	101.5	L-215 [E-41]	22.9	98.35
FH8/10/11/12_22.9	22.9	101.49	L-215 [E-44]	22.9	98.29
FH21/35_22.9	22.9	101.48	L-216 [E-57]	22.9	99.03
GAR.HUANDOY_0.23	0.23	100.17	L-216/L-217 [E-21]	22.9	100.07
HUAYNA P. 8220_0.48	0.48	97.98	L-216/L-217 [E-23]	22.9	100.04
HUAYNA P. 8230_0.48	0.48	98.02	L-216/L-217 [E-59]	22.9	98.96
HUAYNA P. 8234_0.48	0.48	98.97	L-217 [E-38]	22.9	99.53
L-201/L-202 [E-01]	22.9	101.76	L-217 [E-57]	22.9	98.91
L-201/L-202 [E-18]	22.9	100.72	L-217 [E-61]	22.9	98.95
L-203 [E-11]	22.9	101.43	L-217 [E-62]	22.9	98.94
L-203 [E40]	22.9	100.12	L-218 [E-05]	22.9	98.25
L-203/L-204 [E-01]	22.9	101.76	L-218 [E-07]	22.9	98.28
L-203/L-204 [E-35]	22.9	100.2	L-218 [E-11]	22.9	98.25
L-203/L-204 [E-35]2	22.9	100.14	L-219 [E-17]	22.9	97.46
L-203/L-204 [E-37]	22.9	100.16	L-219 [E-33]	22.9	98.91
L-203/L-204 [E-46]	22.9	100.01	L-219 [E-34]	22.9	98.91
L-204 [E-14]	22.9	101.23	L-220 [E-04]	22.9	97.3
L-204 [E40]	22.9	100.12	L-220 [E-05]	22.9	97.23
L-205 [E-34]	22.9	100.86	L-220 [E-11]	22.9	97.03
L-205/L-206 [E-01]	22.9	101.77	L-220 [E-15]	22.9	96.99
L-205/L-206 [E-51]	22.9	100.01	L-221 [E-34]	22.9	96.55
L-206 [E-39]	22.9	100.55	L-222 [E-01]	22.9	98.91
L-206 [E-48]	22.9	100.13	L-222 [E-03](1)	22.9	98.91
L-207 [E-06]	22.9	101.64	L-222 [E-08]	22.9	98.9
L-207 [E-07]	22.9	101.59	L-222 [E-11]	22.9	98.89
L-207 [E-11]	22.9	101.53	L-222 [E-12]	22.9	98.89
L-207 [E-18]	22.9	101.4	L-2044 [E-03]	22.9	100.12
L-207 [E-23]	22.9	101.32	L-2052 [E-0X]	22.9	100.86
L-207 [E-28]	22.9	101.19	L-2052 [E-02]	22.9	100.86
L-207 [E-35]	22.9	101.14	L-2052 [E-03]	22.9	100.86
L-207 [E-58]	22.9	100.96	L-2071 [E-07]	22.9	101.6
L-207 [E-59]	22.9	100.95	L-2071 [E-08]	22.9	101.6
L-207 [E-60]	22.9	100.95	L-2071 [E-09]	22.9	101.6
L-207 [E-61]	22.9	100.95	L-2079 [E-09]	22.9	101.28
L-207X [P-03]	22.9	101.52	L-2079 [E-25]	22.9	101.26
L-208 [E-08]	22.9	101.37	L-2122 [E-02]	22.9	101.35
L-208 [E-10]	22.9	101.44	L-2122 [E-02].	22.9	101.35
L-208 [E-012]	22.9	101.44	L-2124 [E-03]	22.9	101.3

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %	Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
L-209 [E-03]	22.9	101.46	L-2124 [E-06]	22.9	101.28
L-209 [E-07]	22.9	101.46	L-2124 [E-10]	22.9	101.28
L-209 [E-012]	22.9	101.46	L-2127 [E-0X].	22.9	101.35
L-210/L-211 [E-01]	22.9	101.76	L-2131 [E-02]	22.9	100.65
L-210/L-211 [E-72]	22.9	99	L-2131 [E-07]	22.9	100.6
L-212 [E-02]	22.9	101.36	L-2131 [E-08]	22.9	100.6
L-212 [E-03]	22.9	101.36	L-2131 [E-09]	22.9	100.59
L-212 [E-06]	22.9	101.33	L-2131 [E-11]	22.9	100.56
L-212 [E-07]	22.9	101.32	L-2131 [E-12]	22.9	100.56
L-212 [E-08]	22.9	101.31	L-2131 [E-14]	22.9	100.55
L-2131 [E-18]	22.9	100.54	L-22012 [E-21]	22.9	96.82
L-2153 [E-03]	22.9	98.94	L-22021 [E-04]	22.9	97
L-2154 [E-01]	22.9	98.92	L-22021-1 [E-13]	22.9	96.48
L-2154 [E-03]	22.9	98.92	L-22021-1 [E-15]	22.9	96.39
L-2155 [E-01]	22.9	98.92	L-22021-1 [E-16]	22.9	96.38
L-2156 [E-01]	22.9	98.53	L-212431 [E-001]	22.9	101.28
L-2156 [E-05]	22.9	98.49	L-213131 [E-03]	22.9	100.55
L-2156 [E-06]	22.9	98.47	L-213132 [E-04]	22.9	100.54
L-2156 [E-09]	22.9	98.46	L-213151 [E-01]	22.9	100.54
L-2156 [E-13]	22.9	98.4	Lab. Quimico_22.9	22.9	101.35
L-2156 [E-15]	22.9	98.39	LAB.GEO_22.9	22.9	100.96
L-2156 [E-18]	22.9	98.38	LAB.METAL-A_22.9	22.9	101.35
L-2156 [E-20]	22.9	98.36	LAG-8532_0.48	0.48	100.86
L-2156 [E-21]	22.9	98.35	LC CHQ FAC UG_0.48	0.48	97.1
L-2164 [E-03]	22.9	100.05	LLAC_22.9	22.9	98.94
L-2165 [E-0X]	22.9	100.08	LLAGAM_0.48	0.48	98.05
L-2172 [E-05]	22.9	98.29	MANCORA 8330_0.48	0.48	100.8
L-2173 [E-0X]	22.9	98.95	MANCORA 8530_0.48	0.48	100.25
L-2173 [E-01]	22.9	98.95	MMQ_0.48	0.48	96.61
L-2176 [E-06]	22.9	98.81	MMQ_22.9	22.9	96.99
L-2176 [E-10]	22.9	98.6	MOLINO YANACOCKA	22.9	101.46
L-2176 [E-12A]	22.9	98.4	MOVIBLE 8600_0.48	0.48	99.94
L-2176 [E-12H]	22.9	98.29	MOVIBLE 8610_0.48	0.48	99.34
L-2176 [E-21]	22.9	98.14	NV.CAMP.OP_0.48	0.48	100.02
L-2176 [E-22]	22.9	98.11	NV.CAMP.OP_22.9	22.9	100.54
L-2176 [E-36]	22.9	97.83	OF.ADM_22.9	22.9	100.95
L-2176 [E-40]	22.9	97.73	OF.ADM_T-2075A_22.9	22.9	100.95
L-2176 [E-46]	22.9	97.66	OF.ADM_T-2075B_22.9	22.9	100.95
L-2201 [E-06]	22.9	96.96	OF.COMPLEX_22.9	22.9	101.29

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %	Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
L-2201 [E-19]	22.9	96.84	Of.Proy Km25_22.9	22.9	98.92
L-2202 [E-03]	22.9	97.19	ORNAMO 8070_0.48	0.48	100.02
L-2202 [E-04]	22.9	97.19	ORNAMO 8151_0.48	0.48	99.34
L-2222 [E-01]	22.9	98.91	ORNAMO 8750_0.18	0.48	99.7
L-20710 [E-0X]	22.9	101.16	P.L_22.9 LLEG IN-104	22.9	98.91
L-20710 [E-0X](1)	22.9	101.16	P.L_22.9 SAL IN-101	22.9	98.91
L-20711 [E-13/E-14/E-15]	22.9	101.47	P.L_22.9 SAL IN-102.	22.9	98.91
L-21241 [E-02]	22.9	101.29	P.L_22.9 SAL IN-103	22.9	98.91
L-21242 [E-02]	22.9	101.28	P.L_22.9 SAL IN-105	22.9	98.91
L-21243 [E-003]	22.9	101.28	P.L_22.9 SAL IN-106	22.9	98.91
L-21311 [E-04]	22.9	100.6	P.L_22.9 SAL IN-107	22.9	98.91
L21313 [E-04]	22.9	100.54	P.L_22.9 SAL IN-108	22.9	98.91
L-21313 [E-06]	22.9	100.55	PAJ_22.9_BUS1	22.9	101.77
L21313 [E-07]	22.9	100.54	PAJ_22.9_BUS2	22.9	101.77
L-21314 [E-02]	22.9	100.59	PL22.9_T12051/T-12052	22.9	98.9
L-21316 [E-12]	22.9	100.55	PLAN.CAL.YN_22.9	22.9	98.47
L-21317 [E-09]	22.9	100.64	PLAN.EM_22.9	22.9	98.53
L--21561 [E-02]	22.9	98.53	PLAT-A_22.9	22.9	98.4
L-21566 [E-03]	22.9	98.49	PLAT-B_22.9	22.9	98.46
L-21641 [E-04]	22.9	100.03	PL_22.9_16001TL	22.9	98.88
L-21723 [E-06]	22.9	98.28	PL_22.9_16002TL	22.9	98.88
L-21742 [E-06]	22.9	99.53	PL_22.9_T-108	22.9	98.91
L-21766 [E-10]	22.9	98.6	PL_22.9_T-12051	22.9	98.9
L-21766 [E-XX]	22.9	98.53	PL_22.9_T-12052	22.9	98.9
L-21766 [E-XX](1)	22.9	98.5	POZO2_T8040_0.48	0.48	97.2
L-22012 [E-03]	22.9	96.81	POZO2_T8184_0.48	0.48	99.88
L-22012 [E-04]	22.9	96.8	Pz.Chaqui_22.9	22.9	97.83
L-22012 [E-21]	22.9	96.82	PZ.VANES_0.46	0.48	98.61
L-22021 [E-04]	22.9	97	PZ12_22.9	22.9	98.37
L-22021-1 [E-13]	22.9	96.48	QUISH_0.48	0.48	97.81
L-22021-1 [E-15]	22.9	96.39	RE.YN_1KV_0.213..0.053KV	0.133	96.33
L-22021-1 [E-16]	22.9	96.38	REB CHAQ 8390_0.48	0.48	98.5
L-212431 [E-001]	22.9	101.28	REB CHAQ 8540_0.48	0.48	98.27
L-213131 [E-03]	22.9	100.55	REBOMBEO TR2 2_0.48	0.48	98.96
L-213132 [E-04]	22.9	100.54	REBOMBEO TR2 8360_0.48	0.48	97.68
L-213151 [E-01]	22.9	100.54	RIO.REJO_0.40	0.4	100.16
Lab. Quimico_22.9	22.9	101.35	S.E YANACOA NORTE	22.9	99.99
LAB.GEO_22.9	22.9	100.96	S.E SECTIONALIZING	22.9	98.21

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %	Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
LAB.METAL-A_22.9	22.9	101.35	S.E. CARACHCUGO	22.9	98.91
LAG-8532_0.48	0.48	100.86	SAHARA I 8180_0.48	0.48	99.87
LC CHQ FAC UG_0.48	0.48	97.1	SAHARA I 8710_0.48	0.48	99.59
LLAC_22.9	22.9	98.94	SAHARA II 8144_0.48	0.48	99.29
LLAGAM_0.48	0.48	98.05	SAHARA II 8150_0.48	0.48	99.57
MANCORA 8330_0.48	0.48	100.8	SE CAJAMARCA NORTE_60 KV	60	100.89
MANCORA 8530_0.48	0.48	100.25	SE LA PAJUELA 60KV	60	100.12
MMQ_0.48	0.48	96.61	SE LA QUINUA 22.9 KV	22.9	101.46
MMQ_22.9	22.9	96.99	SE LA QUINUA 220 KV	220	99.97
MOLINO YANACOCCHA	22.9	101.46	SGRAVAS_0.48	0.48	97.07
MOVIBLE 8600_0.48	0.48	99.94	SGRAVAS 4.16	4.16	97.49
MOVIBLE 8610_0.48	0.48	99.34	Sist Wide YN3_22.9	22.9	98.92
NV.CAMP.OP_0.48	0.48	100.02	STAGE4_0.48	0.48	100.04
NV.CAMP.OP_22.9	22.9	100.54	SWAG.PLAN_22.9	22.9	100.95
OF.ADM_22.9	22.9	100.95	SWITCH BACK_0.48	0.48	97.6
OF.ADM_T-2075A_22.9	22.9	100.95	T08312_0.48	0.48	101.06
OF.ADM_T-2075B_22.9	22.9	100.95	T08313/15_4.16	4.16	101.26
OF.COMPLEX_22.9	22.9	101.29	T-21312A(1)	22.9	100.6
Of.Proy Km25_22.9	22.9	98.92	Tall.Urt_22.9	22.9	98.99
ORNAMO 8070_0.48	0.48	100.02	Ter-T8020	4.16	101.18
ORNAMO 8151_0.48	0.48	99.34	Terminal(111)	4.16	100.84
ORNAMO 8750_0.18	0.48	99.7	Tq.Cerro.Escalon_0.46	0.48	98.5
P.L_22.9 LLEG IN-104	22.9	98.91	TQ.RE.CAL.CA_22.9	22.9	98.49
P.L_22.9 SAL IN-101	22.9	98.91	TQ.RE.CAL.YN_22.9	22.9	98.39
P.L_22.9 SAL IN-102.	22.9	98.91	TQ.TRANSF.CA_22.9	22.9	98.95
P.L_22.9 SAL IN-103	22.9	98.91	TR01 Sal4	4.16	97.52
P.L_22.9 SAL IN-105	22.9	98.91	TR01 Sal4.	4.16	97.52
P.L_22.9 SAL IN-106	22.9	98.91	TR1_4.16	4.16	99.17
P.L_22.9 SAL IN-107	22.9	98.91	TR1_22.9	22.9	97.66
P.L_22.9 SAL IN-108	22.9	98.91	TR 02A 8440_0.48	0.48	97.83
PAJ_22.9_BUS1	22.9	101.77	TR 02A 8450	0.48	98.67
PAJ_22.9_BUS2	22.9	101.77	TR2_4.16	4.16	98.96
PL22.9_T12051/T-12052	22.9	98.9	TR2_22.9	22.9	97.68
PLAN.CAL.YN_22.9	22.9	98.47	TR3_4.16	4.16	99.52
PLAN.EM_22.9	22.9	98.53	TR3_22.9	22.9	97.99
PLAT-A_22.9	22.9	98.4	TR4_4.16	4.16	98.67
PLAT-B_22.9	22.9	98.46	TR4_22.9	22.9	96.8
PL_22.9_16001TL	22.9	98.88	UG CHAQ 8480	0.48	97.45
PL_22.9_16002TL	22.9	98.88	UG CHQ	4.16	98.15
PL_22.9_T-108	22.9	98.91	UnderDrain LQ8_22.9	22.9	101.26

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %	Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
PL_22.9_T-12051	22.9	98.9	Underdrain N1 LQ_0.46	0.48	100.14
PL_22.9_T-12052	22.9	98.9	Underdrain N2 LQ_0.48	0.48	100.24
POZO2_T8040_0.48	0.48	97.2	Underdrain N3 LQ_0.48	0.48	100.23
POZO2_T8184_0.48	0.48	99.88	WELL1_4.16	4.16	101.87
Pz.Chaqui_22.9	22.9	97.83	WELL1_22.9	22.9	99.52
PZ.VANES_0.46	0.48	98.61	WELL3_22.9	22.9	101.59
PZ12_22.9	22.9	98.37	WELL4_4.16	4.16	98.22
QUISH_0.48	0.48	97.81	WELL4_22.9	22.9	98.49
RE.YN_1KV_0.213..0.053KV	0.133	96.33	WELL5_4.16	4.16	100.55
REB CHAQ 8390_0.48	0.48	98.5	WELL5_22.9	22.9	101.46
REB CHAQ 8540_0.48	0.48	98.27	WELL6/SWH1_4.16	4.16	100.86
REBOMBEO TR2 2_0.48	0.48	98.96	WELL6/SWH2_4.16	4.16	100.93
REBOMBEO TR2 8360_0.48	0.48	97.68	WELL6_4.16	4.16	100.97
RIO.REJO_0.40	0.4	100.16	WELL6_22.9	22.9	101.59
S.E YANACOCCHA NORTE	22.9	99.99	WELL7_4.16	4.16	100.69
S.E SECTIONALIZING	22.9	98.21	WELL7_22.9	22.9	101.59
S.E. CARACHCUGO	22.9	98.91	WELL8_4.16	4.16	101.13
SAHARA I 8180_0.48	0.48	99.87	WELL8_22.9	22.9	101.46
SAHARA I 8710_0.48	0.48	99.59	WOXLQ8_22.9	22.9	101.25
SAHARA II 8144_0.48	0.48	99.29	WOX_4.16 SAL 52-6	4.16	100.9
SAHARA II 8150_0.48	0.48	99.57	YAN.SUR_0.48	0.48	100.77
SE CAJAMARCA NORTE_60 KV	60	100.89	YN_0.48_T09501	0.48	98.94
SE LA PAJUELA 60KV	60	100.12	YN_22.9_T12001&T-12002	22.9	99.98
SE LA QUINUA 22.9 KV	22.9	101.46	TQ.RE.CAL.YN_22.9	22.9	98.39
SE LA QUINUA 220 KV	220	99.97	TQ.TRANSF.CA_22.9	22.9	98.95
SGRAVAS_0.48	0.48	97.07	TR01 Sal4	4.16	97.52
SGRAVAS 4.16	4.16	97.49	TR01 Sal4.	4.16	97.52
Sist Wide YN3_22.9	22.9	98.92	TR1_4.16	4.16	99.17
STAGE4_0.48	0.48	100.04	TR1_22.9	22.9	97.66
SWAG.PLAN_22.9	22.9	100.95	TR 02A 8440_0.48	0.48	97.83
SWITCH BACK_0.48	0.48	97.6	TR 02A 8450	0.48	98.67
T08312_0.48	0.48	101.06	TR2_4.16	4.16	98.96
T08313/15_4.16	4.16	101.26	TR2_22.9	22.9	97.68
T-21312A(1)	22.9	100.6	TR3_4.16	4.16	99.52
Tall.Urt_22.9	22.9	98.99	TR3_22.9	22.9	97.99
Ter-T8020	4.16	101.18	TR4_4.16	4.16	98.67
Terminal(111)	4.16	100.84	TR4_22.9	22.9	96.8
Tq.Cerro.Escalon_0.46	0.48	98.5	UG CHAQ 8480	0.48	97.45
TQ.RE.CAL.CA_22.9	22.9	98.49	UG CHQ	4.16	98.15

Bus ID	Nominal kV	Voltaje %
UnderDrain LQ8_22.9	22.9	101.26
Underdrain N1 LQ_0.46	0.48	100.14
Underdrain N2 LQ_0.48	0.48	100.24
Underdrain N3 LQ_0.48	0.48	100.23
WELL1_4.16	4.16	101.87
WELL1_22.9	22.9	99.52
WELL3_4.16	4.16	100.93

Tabla: 4.1.8 Resultados del flujo de carga del sistema eléctrico de mina ubicada en Cajamarca. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de flujo de carga del sistema eléctrico de la mina ubicada en Cajamarca presenta un adecuado perfil de tensiones en los buses (Barras). Cumpliendo los límites permisibles del +/- 5% de sus tensiones nominales.

Bus Voltage	Critical	Marginal
Over Voltage	105%	102%
Under Voltage	95%	98%

Tabla: 4.1.9 Límites de alarma y alerta de ETAP 20.00. Fuente: Elaboración propia.

4.2 ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO

En esta etapa se realizó el análisis de corto circuito mediante el software ETAP 20.00.0, esto con el propósito de poder obtener todas las corrientes de falla por corto circuito en las barras del sistema eléctrico de la mina ubicada en Cajamarca. Con esto se verificó si el diseño de los equipos eléctricos es el adecuado.

Los equipos tales como buses (barras), cables e interruptores deben operar bajo condiciones estables de flujo de carga y poder soportar esfuerzos mecánicos, fallas eléctricas y choques térmicos generados por la corriente de corto circuito.

PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL BUS 300-EES-2-02_0.48 DE 0.48 kV

ID	Type	kV	Amp Continuous	Symmetrical. rms	Asymmetrical. rms
3000-EES-2-02_0.48	CU	0.5	4000	65 kA	85 kA

Tabla: 4.2.1 Especificaciones técnicas del Bus de 0.48 Kv. Fuente: Elaboración propia.

Los datos enunciados en la tabla 4.2.1 se ingresaron al software ETAP para que pueda efectuar el análisis de corto circuito en dicho bus. Para este estudio se configuro a la norma ANSI/IEEE C37.10.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO DE LA BARRA DE 0.48 kV.

Los resultados de este análisis nos permitieron evaluar el comportamiento de nuestra red ante una falla por cortocircuito en diferentes puntos del sistema.

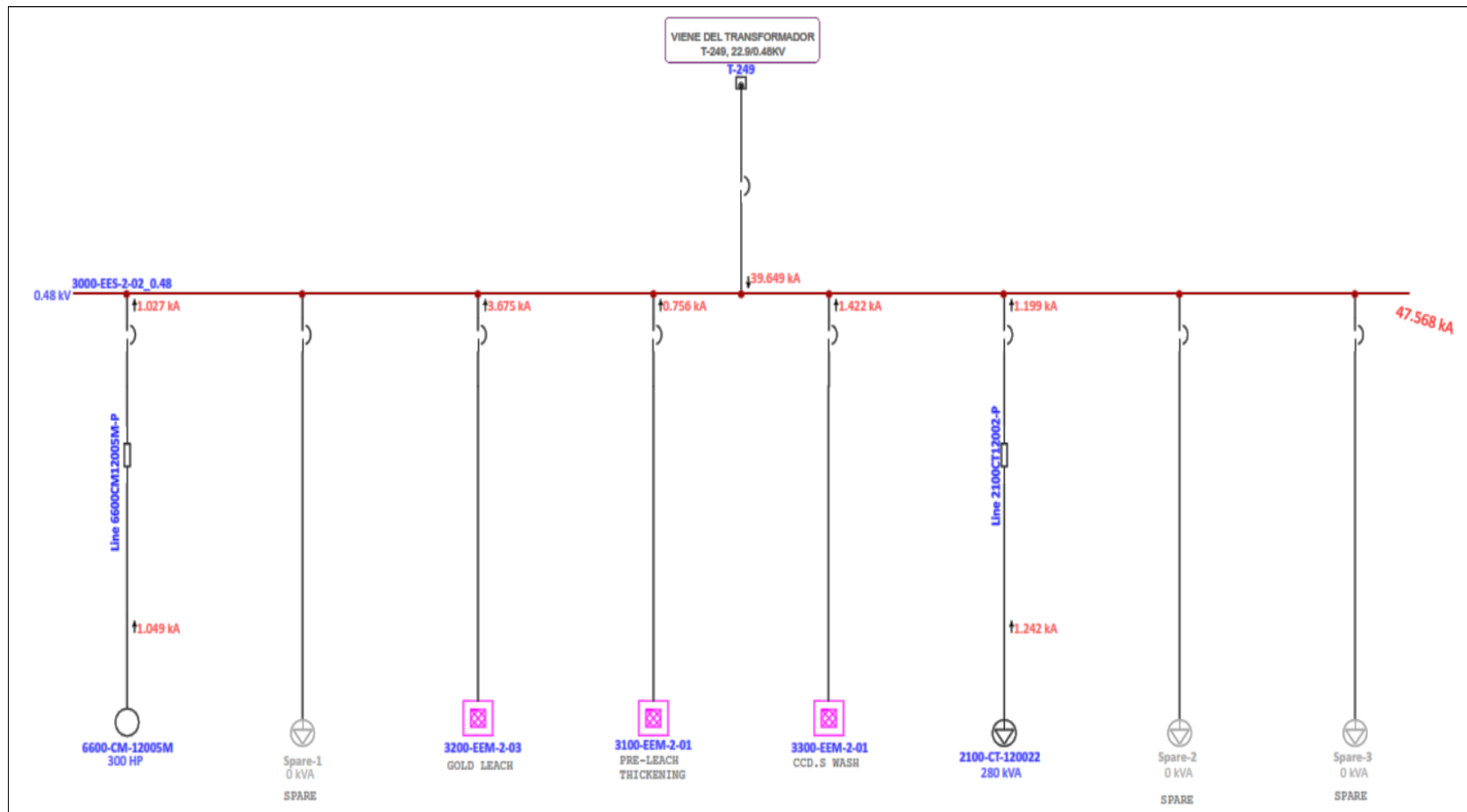


Figura 4.2.1: Análisis de cortocircuito en barra de 0.48kV. Fuente: ETAP 20.00.

ID	Nominal kV	Symmetrical kA	Asymmetrical kA	Peak kA	X/R Ratio	Standard
3000-EES-2- 02_0.48	0.48	47.56824	67.31025	114.8945	9.094801	IEEE C37.10

Tabla: 4.2.2 Resultado del análisis de cortocircuito realizado por ETAP 20.00.

Fuente: Elaboración propia.

Comparando los parámetros eléctricos de la barra y los resultados del análisis de cortocircuito realizado por ETAP 20.00. Podemos concluir que la barra 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv trabaja dentro de sus parámetros de diseño, pudiendo soportar una falla eléctrica por cortocircuito.

4.3 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Con este análisis de coordinación de protecciones se sistematizó los equipos de protecciones de media tensión con los equipos de protección de baja tensión de la subestación de 22.9/0.48 kV – Bus 300-EES-2-02_0.48 DE 0.48 kV.

Para esto nos valemos de la corriente de corto circuito obtenida del análisis de corto circuito realizado anteriormente. Esto permitirá que el sistema eléctrico pueda diferenciar entre una condición de operación normal y una falla por corto circuito. Para nuestro caso estudio utilizamos la norma ANSI.



Figura 4.3.1: Configuración de parámetros de corriente del IN-249 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv. Fuente: ETAP 20.00.

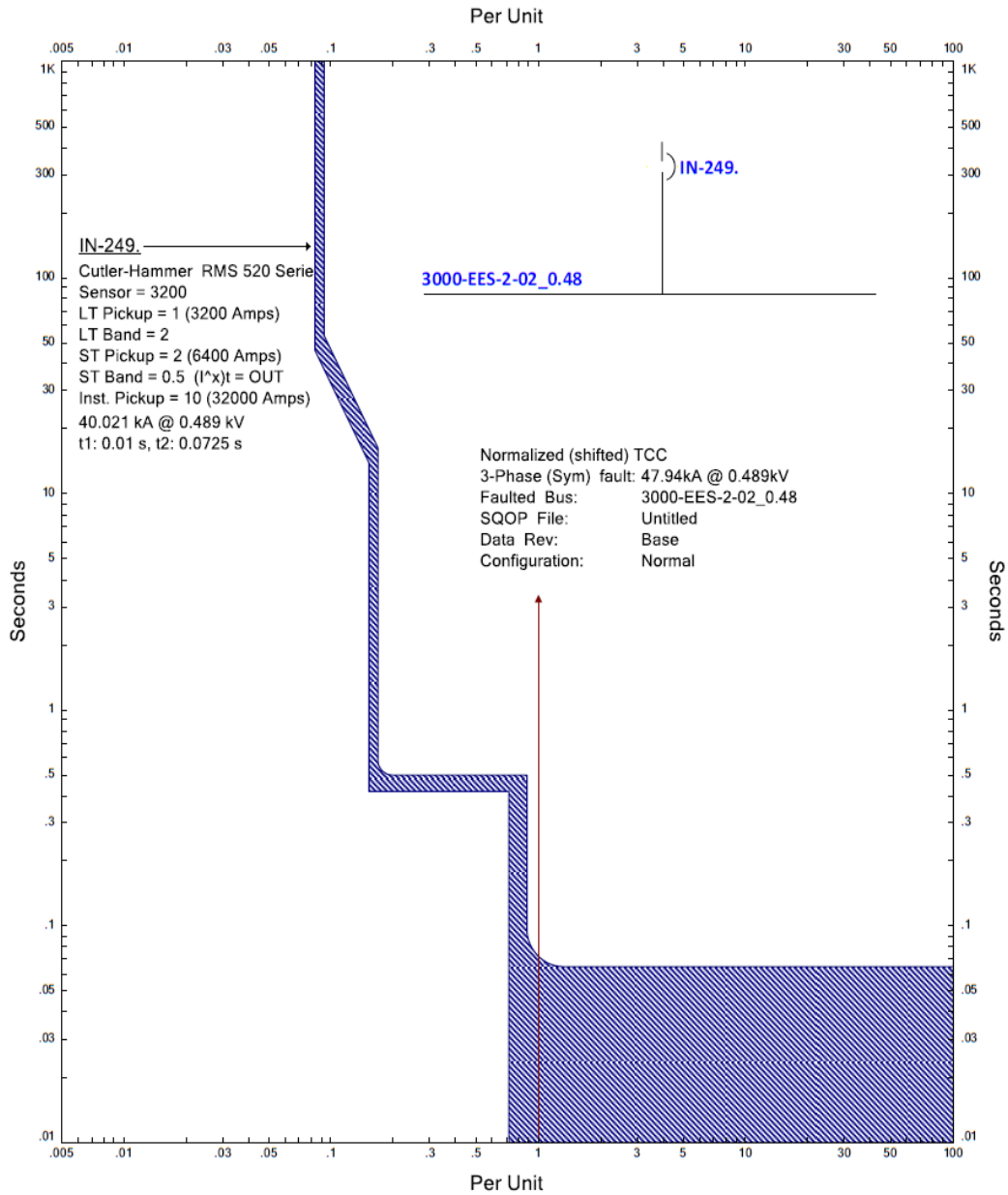


Figura 4.3.2: Curva de protección del bus 300-EES-2-02_0.48 de 0.48 kV hacia su interruptor alimentador IN-249 de la sub estación de 22.9/0.48 Kv.
 Fuente: ETAP 20.00

En la figura 4.3.2 Podemos observar que el IN-249 apertura por falla de corto circuito a una corriente de 40.02 kA en 72 ms de forma instantánea. Si lo comparamos con el seteo de protección instantáneo del interruptor que es de 32000 amperios, podemos observar el correcto funcionamiento de la protección.

Codigo de Celda	Marca	Modelo	Modulo de proteccion	kV max.	A	Inst Trip
IN-249	Cutler-Hammer	MDS-632	Digitrip 520	0.6	3200	65 kA

SOBRE CORRIENTE DE FASE

Long - Time			Short - Time			Instantaneous	
LT Pickup	Amp	LT Band (S)	ST Pickup	Amp	ST Band (S)	Inst. Pickup	Amp
1	3200	2	2	6400	0.5	10	32000

SOBRE CORRIENTE DE TIERRA

Ground Pickup	Amp	Ground Band (S)
0.25	800	0.5

Tabla: 4.3.1 Seteos de protección del IN-249 de la Subestación de 22.9/0.48 kV

Fuente: Elaboración propia.

4.4 ANÁLISIS DE ARCO ELÉCTRICO

La finalidad del análisis de arco eléctrico es poder calcular la energía incidente (Cal/cm²) producida por una falla por arco. Con esto podremos determinar distancias de seguridad, tipo de EPP's a usar y tipo de rotulado a colocar en la instalación. Los resultados documentan el análisis de energía incidente que pueden ser utilizados por el equipo de prevención de pérdidas o los trabajadores. Esto como parte de una evaluación de riesgos para los trabajos eléctricos.

ESCENARIO 1: CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO VCB DEL BUS 3000-EES-2-02_0.48 DE 0.48kV

Para este escenario se realizó la configuración de electrodos en VCB en el software ETAP 20.00.

The screenshot shows the 'Bus Editor' window for a 0.48 kV bus. The interface is divided into several sections:

- Reliability:** Includes tabs for Info, Phase V, Load, Motor/Gen, Rating, Arc Flash, Protection, and Harmonic.
- General Settings:** Shows '0.48 kV 4000 Amps' and 'Symmetrical 65 kA'. The 'Standard' is set to ANSI, and the 'Type' is 'Switchgear'. 'Enclosure Isolation' is checked for 'Main PD'.
- Bracing:** 'Continuous' is set to 4000 Amp. 'Bracing' is set to 'Asymm. rms 86.5 kA' and 'Symm. rms 65 kA'.
- Arc Flash Parameters:** 'Gap Between Conductors / Buses' is 32 mm, 'Gap Between Conductors L-G' is 51 mm, and 'Distance X Factor' is 1.473. 'Electrode Configuration' is 'VCB' and 'Conductor Type' is 'Copper'. Dimensions include Height (508 mm), Width (508 mm), and Depth (508 mm). Reflectivity coefficients are 'a' (600 mm) and 'k' (0.295).
- Shock Protection (NFPA 70E):** 'Print on Label' is checked. 'Limited Approach Boundary' is set to 1.067 m (Fixed Circuit Part). 'Restricted Approach Boundary' is 0.305 m. 'Insulating Glove Class' is 00 and 'V-Rating' is 500 VAC. 'Shock Hazard when' is set to 'covers removed'. 'Automatically Update Arc Flash and Shock Protection Data' is checked.

Figura 4.4.1: Configuración de parámetros del Bus de 0.48Kv - Configuración de electrodos en VCB. Fuente: ETAP 20.00.

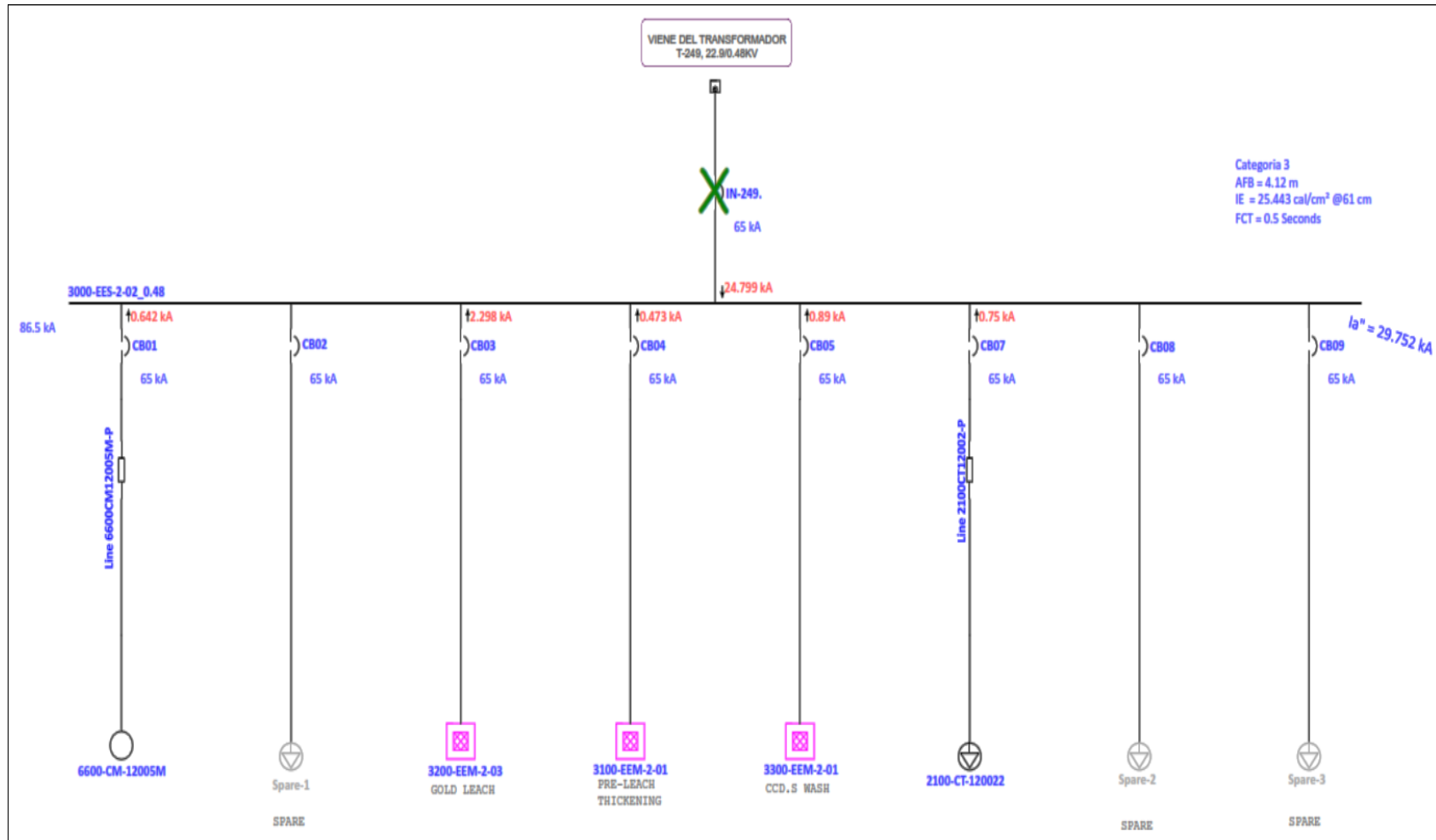


Figura 4.4.2: Análisis de arco eléctrico. Configuración de electrodos VCB en el Bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv.
Fuente: ETAP 20.00.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ARCO ELÉCTRICO (VCB)

Figura 4.4.3: Resultado del análisis de arco. Configuración de electrodos en VCB.
Fuente: ETAP 20.00.

ID BUS	TENSIÓN (Kv)	TIPO	CONFIGURACION DE ELECTRODOS	DIMENSIONES DE CELDA (mm)	DISTANCIA DE TRABAJO (mm)
3000-EES-2-02_0.48	0.48	Switchgear	VCB	508x508x508	610
CORRIENTE DE FALLA (kA)	TIEMPO DE APERTURA (ms)	CORRIENTE DE ARCO Ia" (kA)	ENERGÍA INCIDENTE (cal/cm2)	DISTANCIA LIMITE DE ARCO (mm)	NIVEL DE ENERGIA INCIDENTE
47.57	510	29.75	25.44	4120	CATEGORIA 3

Tabla: 4.4.1 Resultado del análisis de energía incidente del Bus de 0.48Kv. Fuente:

Elaboración propia.

ESCENARIO 2: CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO VCBB DEL BUS 3000-EES-2-02_0.48 DE 0.48kV

Para este escenario se realizó la configuración de electrodos en VCBB en el software ETAP 20.00.

Bus Editor - 3000-EES-2-02_0.48

Reliability Remarks Comment

Info Phase V Load Motor/Gen Rating Arc Flash Protection Harmonic

0.48 kV 4000 Amps Symmetrical 65 kA

Standard Type Enclosure Isolation

ANSI IEC Switchgear Main PD

Continuous Bracing

4000 Amp Asymm. rms 86.5 kA Symm. rms 65 kA

Arc Flash Parameters

Gap Between Conductors / Buses 32 mm Distance X Factor 1.473

Gap Between Conductors L-G 51 mm

Electrode Configuration VCBB Enclosure Editor

Conductor Type Copper

Height 508 mm Width 508 mm Depth 508 mm

Reflectivity Coefficients a 600 mm k 0.295

Shock Protection (NFPA 70E)

Print on Label Limited Approach Boundary 3.048 m Exp. Movable Conductor

Limited Approach Boundary 1.067 m Fixed Circuit Part

Restricted Approach Boundary 0.305 m

Typical Data

Data Options

Insulating Glove Class 00 V-Rating 500 VAC

Shock Hazard when covers removed

Automatically Update Arc Flash and Shock Protection Data

3000-EES-2-02_0.48 OK Cancel

Figura 4.4.4: Configuración de parámetros del Bus de 0.48Kv - Configuración de electrodos en VCBB. Fuente: ETAP 20.00.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ARCO ELÉCTRICO (VCBB)

Figura 4.4.6: Resultado del análisis de arco. Configuración de electrodos en VCBB.

Fuente: ETAP 20.00.

ID BUS	TENSIÓN (Kv)	TIPO	CONFIGURACION DE ELECTRODOS	DIMENSIONES DE CELDA (mm)	DISTANCIA DE TRABAJO (mm)
3000-EES-2-02_0.48	0.48	Switchgear	VCBB	508x508x508	610
CORRIENTE DE FALLA (kA)	TIEMPO DE APERTURA (ms)	CORRIENTE DE ARCO Ia" (kA)	ENERGÍA INCIDENTE (cal/cm2)	DISTANCIA LIMITE DE ARCO (mm)	NIVEL DE ENERGIA INCIDENTE
47.57	510	33.89	35.13	3.941	CATEGORIA 3

Tabla: 4.4.2 Resultado del análisis de energía incidente del Bus de 0.48Kv. Fuente:

Elaboración propia.

ESCENARIO 3: CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO HCB DEL BUS 3000-EES-2-02_0.48 DE 0.48kV

Para este escenario se realizó la configuración de electrodos en HCB en el software ETAP 20.00.

The screenshot displays the 'Bus Editor - 3000-EES-2-02_0.48' window. The interface is organized into several sections:

- Reliability:** Includes tabs for Info, Phase V, Load, Motor/Gen, Rating, Arc Flash, Protection, and Harmonic.
- General Settings:** Shows '0.48 kV 4000 Amps' and 'Symmetrical 65 kA'. The 'Standard' is set to ANSI, and the 'Type' is 'Switchgear'. 'Enclosure Isolation' is checked for 'Main PD'.
- Continuous:** Set to '4000 Amp'.
- Bracing:** 'Asymm. rms' is 86.5 kA and 'Symm. rms' is 65 kA.
- Arc Flash Parameters:** 'Gap Between Conductors / Buses' is 32 mm, 'Gap Between Conductors L-G' is 51 mm, and 'Distance X Factor' is 1.473. 'Electrode Configuration' is HCB and 'Conductor Type' is Copper. Dimensions for Height, Width, and Depth are all 508 mm. Reflectivity Coefficients 'a' and 'k' are 600 mm and 0.295 respectively.
- Shock Protection (NFPA 70E):** 'Limited Approach Boundary' is 1.067 m (Fixed Circuit Part), and 'Restricted Approach Boundary' is 0.305 m. 'Insulating Glove Class' is 00 and 'V-Rating' is 500 VAC. 'Shock Hazard when' is set to 'covers removed'. A checkbox for 'Automatically Update Arc Flash and Shock Protection Data' is checked.

The bottom of the window features a toolbar with navigation icons, a file name field '3000-EES-2-02_0.48', and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 4.4.7: Configuración de parámetros del Bus de 0.48Kv - Configuración de electrodos en HCB. Fuente: ETAP 20.00.

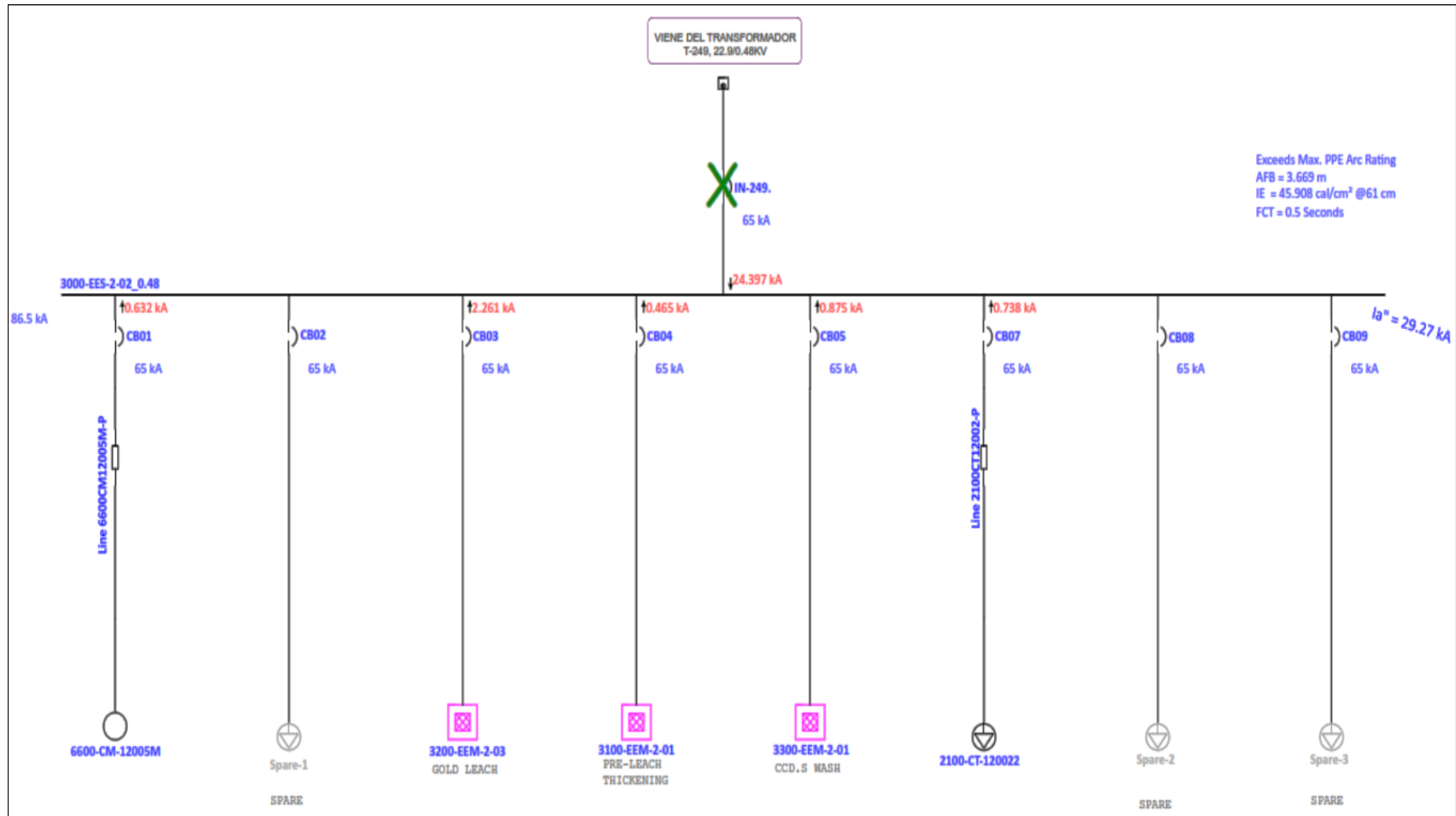


Figura 4.4.8: Análisis de arco eléctrico. Configuración de electrodos HCB en Bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv.
Fuente: ETAP 20.00.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ARCO ELÉCTRICO (HCB)

Figura 4.4.9: Resultado del análisis de arco. Configuración de electrodos en HCB.

Fuente: ETAP 20.00.

ID BUS	TENSIÓN (Kv)	TIPO	CONFIGURACION DE ELECTRODOS	DIMENSIONES DE CELDA (mm)	DISTANCIA DE TRABAJO (mm)
3000-EES-2-02_0.48	0.48	Switchgear	HCB	508x508x508	610
CORRIENTE DE FALLA (kA)	TIEMPO DE APERTURA (ms)	CORRIENTE DE ARCO Ia" (kA)	ENERGÍA INCIDENTE (cal/cm2)	DISTANCIA LIMITE DE ARCO (mm)	NIVEL DE ENERGIA INCIDENTE
47.57	510	29.27	45.908	3669	CATEGORIA 3

Tabla: 4.4.3 Resultado del análisis de energía incidente del Bus de 0.48Kv. Fuente:

Elaboración propia.

RESUMEN DE ENERGIA INDICENTE SEGÚN CONFIGURACIÓN DE ELECTRODOS

CONFIGURACION DE ELECTRODOS	DISTANCIA DE TRABAJO (mm)	CORRIENTE DE FALLA (kA)	TIEMPO DE APERTURA (ms)	CORRIENTE DE ARCO Ia (kA)	ENERGÍA INCIDENTE (cal/cm2)	DISTANCIA LIMITE DE ARCO (mm)	NIVEL DE ENERGIA INCIDENTE
VCB	610	47.57	510	29.75	25.44	4120	CATEGORIA 3
VCBB	610	47.57	510	33.89	35.13	3941	CATEGORIA 3
HCB	610	47.57	510	29.27	45.90	3669	CATEGORIA 3

Tabla: 4.4.4 Resumen de análisis de energía incidente según la configuración de electrodos del Bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv. Fuente: Elaboración propia.

ETIQUETADO DEL BUS 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv.

Obtenido los resultados de las pruebas con las tres configuraciones de electrodos podemos visualizar que la configuracion que genera menor energia incidente es la VCB con 25.44 cal/cm². Esta informacion debera ir colocada en una etiqueta informativa en la puerta de acceso del bus. Donde podremos ver el tipo de EPP a usar, las distancias de seguridad, nivel de voltaje y a que nivel de energia incidente estamos expuestos. Esta informacion tambien es valiosa para la realizacion de un plan de seguridad electrica. El programa de seguridad eléctrica integral tiene como propósito proporcionar los lineamientos necesarios para realizar de forma segura los trabajos de mantenimiento eléctrico (Otazú, 2018).

Determinar y etiquetar la energía incidente máxima disponible en cada instalacion electrica a lo largo del sistema de distribución que probablemente requiera ser examinada, hacer algún ajuste, servicio o mantenimiento (Yupanqui, 2018).

Asimismo, contar con el uso de EPP de protección contra el arco eléctrico o relámpago de arco, de acuerdo a las características de la instalación eléctrica. Ropa de trabajo resistente al arco eléctrico, de acuerdo a la exigencia de la instalación eléctrica donde ha de laborar (Resesate MEM, 2013).


 WARNING		
Peligro de Arco Eléctrico y de Descarga Eléctrica Se Requiere un EPP Adecuado		
Límite del arco eléctrico	4.12 m	Categoría 3
Energía incidente cal/cm ²	25.4	Requisitos mínimos de EPP
Distancia de Trabajo	61 cm	Camisa de mangas y pantalones u overol o traje de protección contra relámpago de arco. Capucha de traje con protección contra relámpago de arco. Chaqueta, parka, prendas impermeables con valor de resistencia al arco, forro de casco. Guantes resistente al arco o guantes aislante de hule con protectores de cuero. Casco, anteojos de seguridad o gafas de seguridad, Protección auditiva y calzado de trabajo de cuero.
Exposición al Peligro de Choque	480 VAC	
Clase de Guantes Aislantes	00	
Peligro de Choque al Retirar las Cubiertas		
Límite de Aproximación Limitado	1.07 m	
Límite de Aproximación Restringida	0.30 m	
3000-EES-2-02_0.48		NOV. 2022

Figura 4.4.10: Etiqueta informativa de peligro por arco eléctrico - Configuración de electrodos en VCB. Fuente: ETAP 20.00.

V. DISCUSIÓN

Obtenido los resultados de la energía incidente en las 3 configuraciones usadas en esta investigación citamos el siguiente artículo: La configuración de los electrodos puede ser un factor agravante para la energía incidente porque la forma de la explosión del plasma no es necesariamente esférica. Inmediatamente después del inicio del arco, un rápido aumento de la temperatura provoca la expansión del aire/plasma caliente y puede empujar la trayectoria del plasma en una dirección determinada por la orientación de los electrodos. De acuerdo con IEEE Std. 1584-2018, un arco eléctrico que se origina en conductores horizontales en una caja metálica (HCB) puede tener superficies que experimentan el doble de energía incidente de un arco eléctrico que se origina en conductores verticales en una caja metálica (VCB), siempre que todos los demás parámetros permanezcan iguales (Zia et al., 2020).

Ahora daremos respuesta a nuestro primer objetivo específico que es: "Evaluar la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos VCB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV." Se realizó el análisis de energía incidente según norma, con el software ETAP encontrando que esta configuración es la que tiene menor energía incidente de las 3 configuraciones de electrodos. Dándonos como resultado 25.44 cal/cm². Si compramos este resultado con el artículo de Zia publicado en el 2020, podemos corroborar que su enunciado coincide con nuestro resultado y que la configuración HCB (45.90 cal/cm²) tiene casi el doble de energía incidente que la configuración VCB (25.44 cal/cm²).

Seguimos con nuestro segundo objetivo: "Evaluar la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos VCBB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV." Para esto citamos el siguiente artículo: Por lo tanto, en la práctica la configuración de electrodos VCBB también se puede concluir como la "exposición directa", que puede producir más energía incidente que la configuración de electrodos VCB (Zhang et al., 2020). Para esta configuración obtuvimos una energía incidente del 35.13 cal/cm². Quedando en un valor medio de

las 3 configuraciones analizadas. Este resultado nos permite corroborar el artículo de Zhang que fue publicado en el 2020, donde nos afirma que la configuración VCBB genera mayor energía incidente que la configuración VCB.

Para nuestro tercer objetivo específico citamos el siguiente artículo: La corriente de arco para una falla con configuración de electrodos VCB es generalmente similar a la corriente de arco para una falla con configuración de electrodos HCB. La única diferencia entre las configuraciones VCB y HCB es la orientación de los conductores a los calorímetros que IEEE Std. 1584-2018 utilizo para medir la energía incidente (Reeves et al., 2020).

Tercer objetivo específico “Evaluar la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión según la configuración de electrodos HCB de la norma IEEE 1584-2018 en la sub estación de 22.9/0.48 kV.” Dando respuesta a nuestro tercer objetivo específico podemos corroborar que las corrientes de arco son casi similares como lo enuncia Reeves en su artículo publicado el 2020.

- Corriente arco configuración VCB $I_a = 29.75$ kA.
- Corriente arco configuración HCB $I_a = 29.27$ kA.

También podemos verificar que la energía incidente en la configuración de electrodos HCB es casi dos veces la energía incidente que en la configuración de electrodos VCB. Esto como lo enuncia Kaynat Zia en su artículo publicado el 2020 líneas arriba.

- Energía incidente configuración VCB: 25.44 cal/cm².
- Energía incidente configuración HCB: 45.90 cal/cm².

Con los 3 objetivos específicos resueltos podemos dar respuesta nuestro objetivo general que es: “Evaluar las configuraciones de electrodos según la norma IEEE 1584-2018 que permita disminuir la energía incidente por arco eléctrico en baja tensión en la sub estación de 22.9/0.48 kV.” Analizando los 3 resultados anteriores podemos

determinar que la configuración de electrodos más idónea hasta la fecha del análisis y sin variar ningún parámetro es la configuración de electrodos VCB por tener menor energía incidente el bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv.

VI. CONCLUSIONES

1. Mediante la recolección de datos de los equipos eléctricos y simulaciones con el software ETAP podemos determinar que configuración de electrodos es la más idónea para el bus 3000-EES-2-02_0.48 de 0.48Kv de la sub estación. Obteniendo como resultado la configuración de electrodos VCB (Conductores/electrodos verticales dentro de una caja/recinto metálico) con una energía incidente de 25.44 cal/cm².
2. Realizando la simulación con la configuración de electrodos VCB, Podemos determinar que esta configuración es la que genera menor energía incidente. También que es casi la mitad de la energía incidente de la configuración de electrodos HCB.
3. Al realizar la simulación con la configuración de electrodos VCBB. Podemos determinar que tiene la mayor corriente de arco, dándonos como resultado una corriente $I_a = 33.89$ kA. Pero su energía incidente es la intermedia de las 3 configuraciones.
4. Al analizar los datos de la configuración de electrodos HCB, Podemos observar que su corriente de arco es similar a la corriente de arco de la configuración de electrodos VCB. También que su energía incidente es casi el doble de la configuración de electrodos VCB.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar el análisis de energía incidente cuando ocurra alguna variación en el sistema eléctrico de distribución que pueda afectar directamente los resultados del análisis ya realizado. O realizar cada 5 años la verificación de los resultados de energía incidente como lo indica la norma NFPA 70E.
- Se recomienda verificar la curva de protección del IN-249 (corriente-tiempo) con el fin de reducir el tiempo de apertura ante una falla. Esto también ayudaría a reducir la energía incidente ya encontrada.
- Comprobar que el personal que realiza trabajos eléctricos, sea personal capacitado y certificado. Así como el empleador debe garantizar un ambiente de trabajo eléctricamente seguro. Para esta recomendación citamos el siguiente enunciado: “La Empresa encargada deberá contar con la relación del personal calificado para efectuar los trabajos en caliente y las hojas de vida de cada uno del personal que participe en los trabajos en caliente, donde se incluya el cronograma de capacitación, actitud física y psicológica” (Resesate MEM, 2013).
- Inspeccionar las etiquetas informativas de energía incidente para verificar si la información que contiene esta de forma correcta y actualizada.

REFERENCIAS

- Aguilar Pizarro, K. (2020). *ESTUDIO DE ARCO ELÉCTRICO EN REDESELÉCTRICAS INDUSTRIALES*. UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ.
- Alvarez, J. S. M. (2020). *Perfeccionamiento del modelamiento eléctrico con flujo de potencia, cortocircuito y arco flash, utilizando el software ETAP para una faja transportadora de minerales, año 2019*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9437>
- Ayers, W. (2022). Arc Flash in Marine Installations. *Elliott Bay Design Group*, 1–7.
- Burns, R. J., Baker, A. D., & Hrnair, D. E. (2019). Current-Limiting Arc Flash Quenching System for Improved Incident Energy Reduction. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(2), 2138–2143.
<https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2876639>
- Casey, T. W., Mason, H. M., Huang, J., & Franklin, R. C. (2021). Shaping frontline practices: A scoping review of human factors implicated in electrical safety incidents. In *Safety* (Vol. 7, Issue 4). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/safety7040076>
- Código Nacional De Electricidad. (2006). Código Nacional De Electricidad – Utilización. *Código Nacional De Electricidad – Utilización*, 836.
- Com, D., & Geração, P. D. E. (2019). *PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA Mauro dos Santos Ortiz*.
- de Almeida, D. (2021). *ESTUDOS PARA MITIGAR OS NÍVEIS DE ENERGIA INCIDENTE ORIGINADA POR ARCO ELÉTRICO EM UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL DE 6,9 KV/ 480 V*. 6.
- Ec, S., Construction, M. E., & Feb, N. (2019). *Understanding Three Essential Elements of Electrical Distribution Systems*. 1–4.
- Graña-López, M. A., García-Diez, A., Filgueira-Vizoso, A., Chouza-Gestoso, J., & Masdías-Bonome, A. (2019). Study of the sustainability of electrical power systems: Analysis of the causes that generate reactive power. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/SU11247202>
- Hoagland, H., Maurice, C., Haines, A., & Maurice, A. (2020). Arc Flash Pressure and Door Ejection Measurement. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(4),

3297–3305. <https://doi.org/10.1109/TIA.2020.2994183>

- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2018). IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations. STD 1584 - 2018. In *IEEE Std 1584*.
- Jornacion, N. (2020). A review of the latest IEEE 1584 and how this affects you. *IEEE Power and Energy Magazine*, 1–4.
- Joy, J. A. H., Islam, M. R., Hasan, N., Mehedi, I. M., Rawa, M. J., & Bassi, H. (2021). Electrical Power Flow Improvement by Reducing Fault Current using FACTS Devices. *18th IEEE International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2021*, 300–305. <https://doi.org/10.1109/SSD52085.2021.9429388>
- Khan, A., & Aman, M. M. (2018). Investigation of the effects of critical incident energy parameters using ETAP® to reduce arc flash hazards. *Proceedings - 2018, IEEE 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid, ICPESG 2018*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICPESG.2018.8384488>
- Kou, G., Deverick, J., Phelps, K., Nguyen, T., & Velez-Cedeno, F. G. (2020). Impact of Distributed Energy Resources on Arc Flash Incident Energy. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35(2), 531–539. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2912347>
- M.Gopila, Dr., Purushotham, S. Perumal, and V. (2021). *Arc Flash Analysis based on IEEE 1584-2018 and NFPA70E-2018*. 12(9), 2869–2873.
- Majd, A., Luo, R., Devadass, M. A., & Phillips, J. (2019). Comprehensive Overview and Comparison of ANSI Versus IEC Short-Circuit Calculations: Using IEC Short-Circuit Results in IEEE 1584 Arc Flash Calculations. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(5), 5487–5493. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2919479>
- Marroquin, A., & Parsons, A. (2020). Application of Incident Energy Reference Boundary Area Plots in TCCs Considering IEEE 1584-2018 Input Parameter Variability. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(5), 4640–4651. <https://doi.org/10.1109/TIA.2020.3004769>
- Mashar, A., Mulyadi, A. D., & Gifari, D. (2020). Methods of determining safety boundary and PPE by analysing arc-flash incident energy in medium voltage panels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(3), 1–8.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/3/032048>

Moghbelli, H., Groen, K., Zaplatosch, T., & Skvarenina, T. (1993). Design project to evaluate the protective device settings for an industrial plant. *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, 2, 1522–1528.

<https://doi.org/10.1109/ias.1993.299233>

Mohla, B. D., Lee, W., Phillips, J., & Marroquin, A. (2020). *Introduction to IEEE Standard 1584. October*.

NFPA 70E. (2021). NFPA 70E-2021. In (National Fire Protection Association) NFPA (Ed.), *www.nfpa.org* (2021st ed.). *www.nfpa.org*.

Nowak, K., Janiszewski, J., & Dombek, G. (2019). Thyristor arc eliminator for protection of low voltage electrical equipment. *Energies*, 12(14).

<https://doi.org/10.3390/en12142749>

Nowak, K., Janiszewski, J., & Dombek, G. (2021). The possibilities to reduce arc flash exposure with arc fault eliminators. *Energies*, 14(7).

<https://doi.org/10.3390/en14071927>

NTCSE. (2010). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos DECRETO SUPREMO N° 020-97-EM (*)*.

Otazú, A. (2018). *ANALISIS DEL TRABAJO Y EL MANTENIMIENTO EN EL ÁREA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA CONCENTRADORA DE UNA MINA DE COBRE PARA IMPLEMENTAR UN PROGRAMA DE SEGURIDAD ELÉCTRICA INTEGRAL*.

Pragale, R., Patel, A., & Bresden, R. (2018). ARC Flash KPI Compliance at a Large Oil and Gas Company. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(1), 889–894.

<https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2743173>

Reeves, A., Freyenberger, M., & Hodder, M. (2020). Understanding the Effect of Electrode Configuration on Incident Energy and Arc-Flash Boundary. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(6), 6069–6075.

<https://doi.org/10.1109/TIA.2020.3023918>

Resesate MEM. (2013). *Resolución Ministerial N°111-2013 -MEM-DM Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad*.

Roberto, H.-S. (2015). Metodología de la Investigación 6a Edición. In M. G. Hill (Ed.),

- Mc Graw Hill (Vol. 7, Issue 1). Mc Graw Hill.
https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Sequeira, L. M. (2021). *Estudio de arco y choque eléctrico de la planta de producción Cemex Colorado, basado en la norma IEEE 1584-2018 y NFPA 70E-2018.*
- Sullivan, P. B., Doan, D. R., & Jones, K. S. (2021). Arc-Flash Incident Energy Analysis: Renewal Recommendations. *IEEE Industry Applications Magazine*, 27(6), 53–63. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2021.3063094>
- Tenelema, E. (2019). *Simulación de flujos de potencia en sistemas eléctricos de potencia usando métodos completos, desacoplados y linealizados.* 19. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17625>
- UL 2748. (2020). *Standard UL 2748 – 2020 Arcing Fault Quenching Equipment.* 2748.
- Ventruella, D. J. (2019). Arc flash hazard - When overestimating underestimates a problem. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(3), 3287–3293. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2897673>
- Weimann, C. S., Kerestes, R. J., & Grainger, B. M. (2020). Comparative Analysis of Experimental DC Arc Flash Results to Industry Estimation Methods. *IEEE Open Journal of Industry Applications*, 1, 181–193. <https://doi.org/10.1109/ojia.2020.3031768>
- Yupanqui, bach. agosto tusan siu. (2018). *DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO (ARC FLASH) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y SEGURIDAD DEL PERSONAL QUE LABORA EN EL ÁREA ELÉCTRICA DE UNA PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE.*
- Zhang, Z., Wang, P., Rau, S. H., & Lee, W. J. (2020). Effect of electrode geometry on arc flash protection boundary. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(1), 57–64. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2947858>
- Zhao, B. L., Zhou, Y., Chen, K., Rau, S., & Lee, W. (2020). High-Speed Arcing Fault Detection. *IEEE Industry Applications Magazine*, 2–10.

Zia, K., Papasani, A., Rosewater, D., & Lee, W. J. (2020). Determine the Electrode Configuration and Sensitivity of the Enclosure Dimensions When Performing Arc Flash Analysis. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(6), 6307–6313.
<https://doi.org/10.1109/TIA.2020.3020531>

ANEXOS

ANEXO 1 - Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Configuración de Electrodo.	Adam Reeves refiere que la razón de la intensidad de la corriente de arco es debido a la configuración de los electrodos. VCB (Conductores/electrodos verticales dentro de una caja/recinto metálico), VCBB (Conductores/electrodos verticales terminados en una barrera aislante dentro de una caja/recinto metálico) y HCB (Conductores/electrodos horizontales dentro de una caja metálica. /caja) (Reeves et al., 2020).	Tipos de configuración de electrodos.	Configuraciones de electrodos.	Configuración de electrodos según norma IEEE 1584-2018: VCB, VCBB y HCB.	Nominal.
Energía Incidente.	Es la energía liberada por un arco eléctrico. Esta energía incidente determinará el efecto del arco eléctrico, a mayor energía incidente, mayores efectos. Los factores que determinan la tasa de energía incidente son el voltaje, la corriente de falla, la distancia desde el punto de falla y la duración del arco. Para determinar la energía incidente, se necesita conocer la corriente de falla y la corriente de arco generada (Mashar et al., 2020).	La energía incidente se mide por la intensidad. Esta es directamente proporcional a la corriente de falla.	Intensidad de Energía incidente.	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje. • Corriente de falla. • Tiempo de despeje de falla. • Duración de arco. • Distancia de seguridad. 	Razón.

Tabla: xx. Matriz de operacionalización de variables. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2 – Tabla 1 coeficientes para ecuación (Corriente de arco).

Table 1—Coefficients for Equation (1)											
E.C. / V_{sc}	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	
VCB	600 V	-0.04287	1.035	-0.083	0	0	-4.783E-09	1.962E-06	-0.000229	0.003141	1.092
	2 700 V	0.0065	1.001	-0.024	-1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	5.482E-05	-0.003191	0.9729
	14 300 V	0.005795	1.015	-0.011	-1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	5.482E-05	-0.003191	0.9729
VCBB	600 V	-0.017432	0.98	-0.05	0	0	-5.767E-09	2.524E-06	-0.00034	0.01187	1.013
	2 700 V	0.002823	0.995	-0.0125	0	-9.204E-11	2.901E-08	-3.262E-06	0.0001569	-0.004003	0.9825
	14 300 V	0.014827	1.01	-0.01	0	-9.204E-11	2.901E-08	-3.262E-06	0.0001569	-0.004003	0.9825
HCB	600 V	0.054922	0.988	-0.11	0	0	-5.382E-09	2.316E-06	-0.000302	0.0091	0.9725
	2 700 V	0.001011	1.003	-0.0249	0	0	4.859E-10	-1.814E-07	-9.128E-06	-0.0007	0.9881
	14 300 V	0.008693	0.999	-0.02	0	-5.043E-11	2.233E-08	-3.046E-06	0.000116	-0.001145	0.9839
VOA	600 V	0.043785	1.04	-0.18	0	0	-4.783E-09	1.962E-06	-0.000229	0.003141	1.092
	2 700 V	-0.02395	1.006	-0.0188	-1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	5.482E-05	-0.003191	0.9729
	14 300 V	0.005371	1.0102	-0.029	-1.557E-12	4.556E-10	-4.186E-08	8.346E-07	5.482E-05	-0.003191	0.9729
HOA	600 V	0.111147	1.008	-0.24	0	0	-3.895E-09	1.641E-06	-0.000197	0.002615	1.1
	2 700 V	0.000435	1.006	-0.038	0	0	7.859E-10	-1.914E-07	-9.128E-06	-0.0007	0.9981
	14 300 V	0.000904	0.999	-0.02	0	0	7.859E-10	-1.914E-07	-9.128E-06	-0.0007	0.9981

Tabla: xx. Coeficientes para ecuación del cálculo de corriente de arco. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.

ANEXO 3 – Tabla 3 coeficientes para ecuación (Energía incidente).

Table 3—Coefficients for Equation (3), Equation (6), Equation (7), and Equation (10)													
600 V	<i>k</i> 1	<i>k</i> 2	<i>k</i> 3	<i>k</i> 4	<i>k</i> 5	<i>k</i> 6	<i>k</i> 7	<i>k</i> 8	<i>k</i> 9	<i>k</i> 10	<i>k</i> 11	<i>k</i> 12	<i>k</i> 13
VCB	0.753364	0.566	1.752636	0	0	-4.783E-09	0.000001962	-0.000229	0.003141	1.092	0	-1.598	0.957
VCBB	3.068459	0.26	-0.098107	0	0	-5.767E-09	0.000002524	-0.00034	0.01187	1.013	-0.06	-1.809	1.19
HCB	4.073745	0.344	-0.370259	0	0	-5.382E-09	0.000002316	-0.000302	0.0091	0.9725	0	-2.03	1.036
VOA	0.679294	0.746	1.222636	0	0	-4.783E-09	0.000001962	-0.000229	0.003141	1.092	0	-1.598	0.997
HOA	3.470417	0.465	-0.261863	0	0	-3.895E-09	0.000001641	-0.000197	0.002615	1.1	0	-1.99	1.04

Tabla: xx. Coeficientes para ecuación del cálculo de energía incidente. Fuente: Std. IEEE 1584-2018.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis Completa titulada: "Estudio de arco eléctrico en baja tensión para determinar energía incidente en una sub estación de 22.9/0.48 kV", cuyo autor es CARO ALHUAY JORGE LUIS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL DNI: 18173382 ORCID: 0000-0002-8127-4040	Firmado electrónicamente por: CASTROA el 19-12- 2022 19:47:01

Código documento Trilce: TRI - 0475509