

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE CONCEPCIÓN  
“REY BALDUINO DE BÉLGICA”**

**“ESTUDIO Y APLICACIÓN DE LA NORMA NFPA 70E, EN UNA  
INSTALACIÓN DE MEDIA TENSION, UBICADA EN EL TALLER  
ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD”.**

**ALUMNO : Benjamín Muñoz Mautz**

**Sebastián Sanzana Rodríguez**

**PROFESOR GUÍA: Sr. Luis Muñoz Quezada**

**-2022-**

**DEDICATORIA: Queremos dedicar este trabajo a nuestros seres queridos.**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia agradecemos a todos nuestros, profesores los cuales fueron participes de nuestra formación como estudiantes de Técnico Universitario en Electricidad, los cuales nos entregaron su conocimiento y se esforzaron, para que esta información nos formara tanto profesional y personalmente. Mención especial a nuestro profesor guía y jefe de carrera Luis Muñoz Quezada, el cual, a pesar de tener una agenda prácticamente colapsada debido a las clases virtuales forzadas por la Pandemia Mundial del presente año 2020, se dio el tiempo de atender nuestras dudas a medida que se desarrollaba este informe. También hay que destacar a profesores los cuales tenían una vocación sobresaliente, Sr. Gonzalo Ramírez, el cual nos brindó su conocimiento en las asignaturas de máquinas eléctricas, Sr. Alfonso Yáñez, que nos nutrió de conocimiento en ramos tales como Líneas y Proyectos Eléctricos, Sr Luis Fuentes, persona fundamental en el taller eléctrico con un conocimiento amplio en todas las áreas de la especialidad, dispuesto a entregar todas las herramientas para poder darle solución a problemáticas impuestas, Sr. Diego Jara, siempre disponible al momento de consultas y con un don único al momento de explicar situaciones complejas de laboratorio, por último mencionar al director de carrera Don Esteban Díaz Montt el cual es un ejemplo a seguir, por su empatía, compromiso y responsabilidad. Queremos agradecer a nuestros familiares, principalmente a nuestros padres y abuelos, que fueron un pilar fundamental en este proceso y sin su apoyo incondicional no hubiese sido posible lograr esta meta.

Finalmente, a nuestros compañeros, especialmente a los que se volvieron nuestros amigos durante estos años, con los cuales nos dábamos motivación y apoyo en ámbitos académicos y personales.

## **RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de los riesgos eléctricos los cuales se puedan manifestar al realizar una instalación de un Reconectador y Transformador situado en las instalaciones de la UTFSM sede Concepción, específicamente en la línea de MT del taller eléctrico.

Así poder reconocer riesgos eléctricos a los cuales se pueda ver enfrentado el personal al estar en la zona de la instalación y cuando se interactúe con esta línea de MT. Para esto se procederá a realizar un estudio minucioso principalmente de la norma NFPA-70E, así recolectar la mayor información posible tanto de esta norma, como de diferentes fuentes.

Este estudio presenta un protocolo, el cual contempla procedimientos los cuales aseguran la integridad física de las personas.

En el primer capítulo se desarrolla toda la teoría, se mencionan 2 puntos de la constitución política de Chile, luego se estudió minuciosamente la norma NFPA-70E, añadiendo puntos de interés de esta, posteriormente se menciona una pincelada de la NSEG 5 E.N 71, dando paso a la investigación de riesgos eléctricos, para continuar con los tipos de contacto eléctrico y finalizar con las 5 reglas de oro.

El segundo capítulo consta con una descripción de la línea de Media Tensión (MT).

El tercer capítulo contempla los riesgos asociados a la exposición del arco eléctrico, el cálculo de energía incidente de los equipos ya instalados y por instalar, por último, se mencionan las principales causas que provocan daños a los transformadores.

Finalmente, en el cuarto capítulo genera, con toda la información anterior, un protocolo el cual contempla la instalación de los equipos y la interacción con la línea de MT.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	2
RESUMEN .....	3
ÍNDICE .....	4
ÍNDICE TABLAS .....	7
ÍNDICE IMÁGENES .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVO GENERAL .....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	11
1.1 DE LA CONSTITUCION POLITICA CHILENA .....	11
1.1.1 RIC.....	11
1.1.2 DECRETO 109.....	11
1.1.5 PLIEGOS TÉCNICOS.....	12
1.1.6 DE LOS DERECHOS Y DEBERES CONTITUCIONALES .....	12
1.1.7 DECRETO SUPREMO N.º 18/1982.....	13
1.2 RIESGOS ELÉCTRICOS .....	13
1.2.1 DEFINICIÓN DE RIESGOS ELÉCTRICOS.....	13
1.2.2 TIPOS DE CONTACTOS ELÉCTRICOS.....	14
1.2.2.1 CONTACTO ELÉCTRICO DIRECTO .....	14
1.2.2.2 CONTACTO ELÉCTRICO INDIRECTO .....	15
1.3 TIPOS DE RIESGOS ELÉCTRICOS ASOCIADOS A UNA INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN. ....	16
1.4 NORMA NFPA-70E AÑO 2018.....	19
1.4.1 ARTÍCULO 90 .....	20
1.4.2 ARTÍCULO 100 .....	20
1.4.3 ARTÍCULO 105 .....	22
1.4.4 ARTÍCULO 110 .....	22
1.4.5 ARTÍCULO 120 .....	24
1.4.6 ARTÍCULO 130 .....	25
1.4.7 ARTÍCULO 250 .....	28
1.4.8 MÉTODOS CÁLCULO ENERGÍA INCIDENTE.....	28



1.5 PROCEDIMIENTOS PARA TRABAJO SEGURO.....	31
1.5.1 REGLAS DE ORO .....	31
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACION .....	34
2.1 ESQUEMA VISTA DE PLANTA DE LA LINEA DE MEDIA TENSIÓN. ....	35
2.2 RECOPIACIÓN DE DATOS .....	36
2.2.1 Noja Power OMS27: .....	36
2.2.2 Transformador Trifásico RHONA: .....	37
2.2.3 Transformador Monofásico TUSAN .....	37
2.2.4 Transformador Trifásico TUSAN.....	38
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE RIESGOS.....	39
3.1 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL CONTRA ARCO ELÉCTRICO. ...	39
3.2 CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE MÉTODO IEEE 1584.....	41
3.2.1 ENERGÍA INCIDENTE TRANSFORMADOR TUSAN TRIFÁSICO .....	42
3.2.2 ENERGÍA INCIDENTE TRANSFORMADOR RHONA TRIFÁSICO .....	44
3.2.3 ENERGÍA INCIDENTE TRANSFORMADOR TUSAN MONOFASICO... ..	46
3.2.4 ENERGÍA INCIDENTE RECONNECTADOR NOJA POWER OMS-27. ....	48
3.2.5 ENERGÍA INCIDENTE GABINETE GENERAL SIMULADOR DE LINEAS MT.....	49
CAPÍTULO 4: PROTOCOLO DE SEGURIDAD ELÉCTRICA.....	51
4.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL CONTRA ARCO ELÉCTRICO. ....	52
4.2 MANTENIMIENTO LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN.....	53
4.2.1 MANTENIMIENTO DE AISLADORES .....	53
4.2.2 MANTENIMINETO DE DESCONNECTADORES FUSIBLES .....	53
4.2.3 MANTENIMINETO DE CONDUCTORES .....	53
4.2.4 MANTENIMINETO DE TRANSFORMADORES.....	54
4.2.5 MANTENIMINETO DE GABINETE DE MEDIA TENSIÓN .....	54
4.3 HERRAMIENTAS Y PROCEDIMIENTOS PARA ENERGIZAR Y DES- ENERGIZAR LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN. ....	55
4.3.1 HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS.....	56
4.3.2 ENERGIZACIÓN DE LA LÍNEA DE MT .....	57
4.3.3 DESENERGIZAR DE LA LINEA DE MT. ....	57
4.4 SEÑALIZACIONES Y EXTINTOR. ....	59
4.5 RECOMENDACIONES.....	60
CONCLUSIÓN .....	61
BIBLIOGRAFÍA .....	62
ANEXOS.....	63
ANEXO A: TABLA DISTANCIAS TÍPICAS DE TRABAJO, NFPA 70-E.....	65
ANEXO B: ARNES DE CUERPO COMPLETO .....	65



ANEXO C: AMORTIGUADOR DE IMPACTO.....	66
ANEXO D: LINEA DE VIDA AUTORETRACTIL .....	66
ANEXO E: LINEA DE VIDA VERTICAL TEMPORAL .....	67
.....	67
ANEXO F: LINEA DE VIDA VERTICAL PERMANENTE .....	68
.....	68
ANEXO G: SEÑALIZACIONES DE ADVERTENCIA .....	69
ANEXO H: SEÑALIZACIONES DE SALVAMENTO .....	70
ANEXO I: SEÑALIZACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	71
ANEXO J: SEÑALIZACIONES DE OBLIGACIÓN .....	72
ANEXO K: SEÑALIZACIONES DE PROHIBICIÓN .....	73
ANEXO L: ADVERTENCIA RIESGO ELECTRICO.....	73
ANEXO M: EXTINTOR CO2 CLASE C.....	74

## ÍNDICE TABLAS

1.4.6 TABLA N°1 FRONTERA DE APROXIMACIÓN.....	35
1.4.8 TABLA N°2 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE.....	37
1.4.8 TABLA N°3 MÉTODO NFPA70E.....	37
1.4.8 TABLA N°4 MÉTODO IEEE 1584.....	38
2.2.1 TABLA N°5 DATOS TÉCNICOS RECONNECTADOR NOJA POWER OMS- 27.....	46
2.2.2 TABLA N°6 DATOS TÉCNICOS TRANSFORMADOR TRIFÁSICO RHONA.....	47
2.2.3 TABLA N°7 DATOS TÉCNICOS TRANSFORMADOR MONOFÁSICO TUSAN.....	48
2.2.4 TABLA N°8 DATOS TÉCNICOS TRANSFORMADOR TRIFÁSICO TUSAN.....	48
3.2 TABLA N°9 CATEGORÍAS DE EPP CONTRA ARCO ELÉCTRICO.....	65
4.1 TABLA N°10 EPP CONTRA ARCO ELÉCTRICO A UTILIZAR.....	68/69
4.3.1 TABLA N°11 HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS.....	75/76

## ÍNDICE IMÁGENES

1.2.2.1 IMAGEN N°1 CONTACTO ELÉCTRICO DIRECTO.....	17
1.2.2.2 IMAGEN N°2 CONTACTO ELÉCTRICO INDIRECTO.....	18
1.4.4 IMAGEN N°3 PIRÁMIDE, JERARQUÍA DE LOS MÉTODOS DE RIESGO...30	
1.4.6 IMAGEN N°4 LÍMITES DE APROXIMACIÓN.....	33
1.5.1.5 IMAGEN N°5, 5 REGLAS DE ORO.....	43
2.1 IMAGEN N°6 ESQUEMA DE LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN.....	45

## **INTRODUCCIÓN**

El estudio de los riesgos eléctricos es fundamental, para lograr reducir y/o hasta eliminar el peligro hacia las personas las cuales estén realizando alguna maniobra u trabajo relacionado con la energía eléctrica. Esta no es perceptible ni para la vista ni oído, solo se reconoce en los efectos que provoca.

Por otro lado, el desconocimiento de información fundamental y el abuso de confianza por parte de las personas hacen aún más peligroso la interacción con la energía eléctrica, dando como resultado accidentes los cuales son completamente evitables dentro de los parámetros de seguridad.

Al momento de realizar una instalación eléctrica de cualquier índole se deben tener en consideración algunos parámetros para poder realizar un trabajo seguro.

Este trabajo tiene como finalidad el estudio de los riesgos eléctricos los cuales podría presentarse en la instalación de un Reconectador y Transformador, como también el reconocimiento de los riesgos en circunstancias de interacción con esta línea energizada. Esto con la finalidad de generar un protocolo, con el mayor número de procedimientos a seguir para asegurar cualquier persona que entre en contacto con esta línea de MT.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio de riesgos eléctricos, en una instalación de MT en el taller eléctrico de la UTFSM sede Concepción, aplicando la NFPA 70-E, en el cual se instalará un Reconectador Noja Power OMS27 y un Transformador RHONA trifásico de 15kVA, para asegurar una intervención segura por parte del personal.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar norma NFPA 70E para conocer sus aspectos más importantes y exigencias, para posterior aplicación.
- Realizar un levantamiento de la instalación con el fin de tener una referencia física en la cual estará situada.
- Realizar reconocimiento de peligros asociados a la instalación.
- Crear un protocolo de seguridad con el fin de instruir al personal, para así prevenir accidentes al momento de instalar y/o posteriormente interactuar con la línea de MT.

## **CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO**

### 1.1 DE LA CONSTITUCION POLITICA CHILENA

Teniendo en cuenta que la instalación de media tensión ubicada en el taller eléctrico de la universidad sufrirá modificaciones; este proceso de cambio trae consigo peligros que siempre están presentes, los cuales se transforman en un riesgo para el personal calificado que se encontrará haciendo maniobras ya sea dentro del periodo de modificación como también cuando este proceso haya finalizado y la instalación se encuentre lista para ser operada y manipulada. La constitución política de Chile provee de normas y decretos que rigen este tipo de tareas eléctricas, las que exigen el cumplimiento de ciertos márgenes de seguridad con el fin evitar inconvenientes que puedan provocar accidentes de trabajo.

#### 1.1.1 RIC

El Reglamento de Seguridad de las Instalaciones de Consumo de Energía Eléctrica contiene exigencias que deben ser consideradas en el diseño, construcción, puesta en servicio, operación, reparación y mantenimiento de toda instalación de consumo de energía eléctrica en el país, hasta el punto de conexión del cliente final con la red de distribución, lo cual apunta directamente a una memoria explicativa la cual justifique todos sus cálculos dentro de ella, como, por ejemplo: protecciones, puesta a tierra, conductores, canalización, distancias y equipos adecuados para las cargas de la instalación. Su cumplimiento, junto a un adecuado mantenimiento, garantiza una instalación básicamente libre de riesgo.

#### 1.1.2 DECRETO 109

El presente reglamento establece los requisitos mínimos de seguridad, que deberán cumplir las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, presentación de servicios complementarios, sistema de almacenamiento y distribución de energía eléctrica, en materias de diseño, construcción, puesta en servicio, operación, mantenimiento, reparación y termino definitivo de operaciones, así como las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en dichas actividades a objeto de desarrollarla en forma segura.

### 1.1.3 NSEG. 5 E.N 71

Reglamento de Instalaciones Eléctrica de Corrientes Fuertes. Tiene por objetivo fijar las disposiciones para la ejecución de instalaciones eléctricas de corrientes fuertes y para el mejoramiento o modificaciones de las existentes.

1.1.4 Art. N°15. Los trabajos en instalaciones de corrientes fuertes, aun cuando no estén en tensión deberán ser ejecutados por personal preparado y con los equipos apropiados. Si para ciertos trabajos es necesario recurrir a personas que no tengan preparación especial, deberá instruírseles en forma clara y precisa sobre la labor que ejecutaran y deberá mantenerse una estrecha vigilancia mientras trabajen.

### 1.1.5 PLIEGOS TÉCNICOS

Estos pliegos brindarán un conocimiento extra, actualizado, en los cuales permitirán al instalador tener a su disposición alcances en cuanto a operación, mantenimiento, señalización y seguridad.

1.1.5.1 Pliego técnico normativo RPTD N°15. Operación y mantenimiento: el objetivo del presente pliego técnico es establecer los requisitos de seguridad en la operación y mantenimiento de las instalaciones de producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica.

1.1.5.2 Pliego técnico normativo RPTD N°09. Señalización de seguridad de instalaciones: el objetivo del presente pliego es definir las exigencias de señales de seguridad, en forma clara, precisa y de fácil entendimiento para todos, con la finalidad de mantener la seguridad y evitar riesgos eléctricos u otros peligros.

### 1.1.6 DE LOS DERECHOS Y DEBERES CONTITUCIONALES

Art. N°19. La constitución asegura a todas las personas: El derecho a la vida y a la integridad física y psíquica de la persona.

### 1.1.7 DECRETO SUPREMO N.º 18/1982

Certificación de calidad de elementos de protección personal contra riesgos ocupacionales.

Art. N°1. Los aparatos, equipos y elementos de protección personal contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedad profesionales que se utilicen o comercialicen en el país, sean ellos de procedencia nacional o extranjera, deberán cumplir con las normas y exigencias de calidad que rijan a tales artículos, según su naturaleza.

## 1.2 RIESGOS ELÉCTRICOS

### 1.2.1 DEFINICIÓN DE RIESGOS ELÉCTRICOS

Riesgo: posibilidad de que se produzca un contratiempo, o una desgracia de que alguien o algo sufra perjuicio o daño. O simplemente reducido según la RAE a contingencia o proximidad de un daño.

Eléctrico: según la RAE, perteneciente o relativo a la electricidad.

Por lo tanto, al tener ya en conocimiento estas dos definiciones, podemos definir que es un riesgo eléctrico.

Riesgo eléctrico: Posibilidad de una contingencia o proximidad de un daño, de que alguien o algo sufra por medio de la electricidad.

## 1.2.2 TIPOS DE CONTACTOS ELÉCTRICOS

### 1.2.2.1 CONTACTO ELÉCTRICO DIRECTO

Son los contactos de personas con partes activas de los materiales y equipos, considerando partes activas los conductores bajo tensión en servicio normal. Por tanto, es aquel en el que la persona entra en contacto con una parte activa (una parte en tensión); por ejemplo: cuando se toca directamente un conductor activo (fase) y simultáneamente el neutro.

Los contactos directos pueden establecerse de tres formas:

- Contacto directo con dos conductores activos de una línea.
- Contacto directo con un conductor activo de línea y masa o tierra.
- Descarga por inducción. Son aquellos accidentes en los que se produce un choque eléctrico sin que la persona haya tocado físicamente parte metálica o en tensión de una instalación.

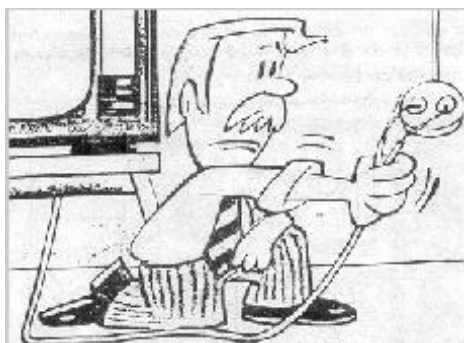


Imagen N°1: Contacto eléctrico directo

Fuente:

<http://www.prevenciondocente.com/accidelectr.htm#:~:text=Los%20accidentes%20el%C3%A9ctricos%20se%20producen,CONTACTOS%20DIRECTOS.>

### 1.2.2.2 CONTACTO ELÉCTRICO INDIRECTO

Es el que se produce por efecto de un fallo en un aparato receptor o accesorio, desviándose la corriente eléctrica a través de las partes metálicas de éstos. Pudiendo por esta causa entrar las personas en contacto con algún elemento que no forma parte del circuito eléctrico y que en condiciones normales no deberían tener tensión como:

- Corrientes de derivación.
- Situación dentro de un campo magnético.
- Arco eléctrico.

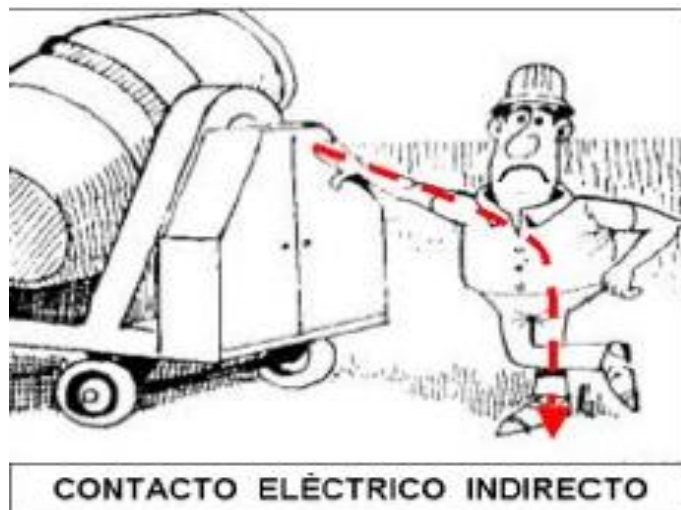


Imagen N°2: Contacto eléctrico indirecto

Fuente:

<http://www.prevenciondocente.com/accidelectr.htm#:~:text=Los%20accidentes%20el%C3%A9ctricos%20se%20producen,CONTACTOS%20DIRECTOS.>

### 1.3 TIPOS DE RIESGOS ELÉCTRICOS ASOCIADOS A UNA INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN.

#### **Arco Eléctrico (Electric Arc)**

Una descarga disruptiva generada por la ionización de un medio gaseoso (por ejemplo, el aire) entre dos superficies o elementos a diferente potencial. El arco es un fenómeno caótico (es decir, no lineal y fuertemente dependiente de las condiciones iniciales), complejo (depende de muchos factores como el medio físico donde se produce, la intensidad de corriente o la forma y materiales de la instalación eléctrica en tensión) y que puede originarse, tanto por un fallo técnico como por un error humano (como, por ejemplo, caída de herramientas o maniobra inadecuada). Los estudios técnicos, recomendaciones y guías de seguridad eléctrica actuales, establecen la necesidad de evaluar el riesgo asociado al arco eléctrico, en trabajos en o próximos a instalaciones, donde existan tensiones superiores a 250 V (tanto en alterna como en continua), bajo ciertas circunstancias.

Cuando los niveles de energía calorífica incidente sobre el trabajador se encuentren dentro del rango de 1,2 – 40 cal/cm<sup>2</sup>, será necesario tomar medidas preventivas frente a los riesgos asociados al arco. Para niveles de energía iguales o superiores a 40 cal/cm<sup>2</sup>, no se recomienda realizar trabajos dentro de dicha zona y para niveles de energía inferiores a 1,2 cal/cm<sup>2</sup>, no existe riesgo de quemaduras de segundo grado.

Considerando todos los parámetros que influyen en el cálculo de la energía calorífica incidente sobre un trabajador, se observa que se puede disminuir dicha energía actuando sobre alguno de los siguientes elementos:

- Disminuir la corriente del arco eléctrico.
- Disminuir la duración del arco eléctrico.
- Aumentar la distancia al arco eléctrico.

#### **Choque eléctrico (Electrical shock)**

El choque eléctrico ocurre cuando el cuerpo se convierte en parte del circuito eléctrico; la corriente entra al cuerpo por un punto y sale por otro. Por lo general, el choque eléctrico ocurre cuando una persona entra en contacto con las siguientes situaciones:

- Ambos cables de un circuito en tensión.
- Un cable de un circuito activado y la tierra.

- Una parte metálica en contacto con un cable activado mientras la persona también está en contacto con la tierra.

Al momento recibir la descarga eléctrica, provoca consecuencias hacia el individuo involucrado, esto se puede manifestar con efectos inmediatos, no inmediatos e incluso la electrocución la cual produce el deceso (muerte).

Entre algunos efectos inmediatos podemos encontrar:

**Paro cardíaco:** Se produce cuando la corriente pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio.

**Asfixia:** cuando la corriente atraviesa el tórax, el choque eléctrico tetaniza el diafragma torácico y como consecuencia los pulmones no tienen capacidad para aceptar aire ni expulsarlo. Este efecto se produce a partir de 25-30 mA.

**Quemaduras:** pueden ser externas o internas por el paso de la intensidad de corriente a través del cuerpo por Efecto Joule o por la proximidad al arco eléctrico. Pueden generar zonas de necrosis (tejidos muertos), pero también alcanzar a dañar órganos profundos, músculos, nervios e incluso huesos.

**Tetanización o contracción muscular:** consiste en la anulación de la capacidad de reacción de los músculos que impide la separación voluntaria del punto de contacto. Normalmente este efecto se produce cuando se superan los 10 mA.

**Fibrilación ventricular:** se produce cuando el choque eléctrico tiene una duración superior a 0.15 segundos, el 20% de la duración total del ciclo cardíaco medio del hombre, que es de 0.75 segundos. La corriente pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio.

**Lesiones permanentes:** son producidas por destrucción de la parte afectada del sistema nervioso (como por ejemplo parálisis o contracturas permanentes).

Por otro lado, mencionamos algunos efectos no inmediatos:

**Manifestaciones renales:** Los riñones pueden quedar bloqueados por las quemaduras, ya que deben eliminar gran cantidad de mioglobina y hemoglobina que les invade después de abandonar los músculos afectados, así como las sustancias tóxicas que resultan de la descomposición de los tejidos destruidos por las quemaduras.

**Trastornos cardiovasculares:** La descarga eléctrica puede provocar pérdida del ritmo cardíaco y de la conducción aurículo-ventricular e intraventricular, manifestaciones de insuficiencias coronarias agudas que pueden llegar hasta el infarto de miocardio, además de taquicardias, vértigo, cefaleas y otras.

**Trastornos nerviosos:** La víctima de un choque eléctrico puede sufrir trastornos nerviosos relacionados con pequeñas hemorragias, fruto de la desintegración de la sustancia nerviosa central o medular. Por otra parte, es muy frecuente la aparición de neurosis de tipo funcional más o menos graves, transitorias o permanentes.

**Trastornos sensoriales, oculares y auditivos:** Trastornos oculares ocasionados por los efectos luminosos y caloríficos del arco eléctrico. En la mayoría de los casos se traducen en manifestaciones inflamatorias del fondo y segmento anterior del ojo. Los trastornos auditivos comprobados pueden llegar hasta la sordera total y se deben generalmente a un traumatismo craneal, a una quemadura grave de alguna parte del cráneo o a trastornos nervioso.

#### **Explosión de arco (Arc Blast)**

Es una onda de choque supersónica producida cuando el arco no controlado vaporiza los conductores de metal.

**Peligros de un Arc Blast:** Explosión de un arco de metralla: pulveriza gotitas de metal fundido a velocidades que exceden 700 MPH que pueden penetrar fácilmente el EPP estándar.

**Temperaturas extremas:** los arcos producen algunas de las temperaturas más altas registradas en la tierra: 19.427 ° C, que es tres veces la temperatura del sol.

**Expansión repentina del aire:** todos los materiales conocidos se vaporizan a esta temperatura. La tasa de expansión es comparable a una pieza de cobre del tamaño de un guisante que se expande al tamaño de un vagón. Las ondas de presión de explosión han arrojado a los trabajadores a través de la habitación.

**Quemaduras fatales:** pueden ocurrir quemaduras fatales incluso cuando el trabajador está a varios pies de distancia del arco. La ropa puede encenderse a 10 pies (3,04 metros) de distancia a menos que se use el EPP adecuado.

**Pérdida auditiva:** un Arc Blast puede tener una magnitud de sonido de 140 dB a dos pies del arco y puede causar pérdida auditiva permanente.

Con el objetivo de mitigar e incluso eliminar estos riesgos; a continuación, se proseguirá con el desarrollo de la norma NFPA-70E de la cual se seleccionaron puntos de gran importancia, los cuales deben estar bajo el conocimiento con el fin de tomarse en cuenta cada vez que se haga una maniobra en la zona donde se encuentra la línea de media tensión.

#### 1.4 NORMA NFPA-70E AÑO 2018

Norma para la seguridad eléctrica en lugares de trabajo.

Los códigos, normas, prácticas recomendadas, y guías de la NFPA® (“Documentos NFPA”) son desarrollados a través del proceso de desarrollo de normas por consenso aprobado por el American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Normas).

La NFPA (National Fire Protection Association) es una organización fundada en Estados Unidos en 1896, encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de

medios de protección contra incendio, utilizados tanto por bomberos, como por el personal encargado de la seguridad.

Cuenta con tres capítulos principales y varios anexos, que en su totalidad atienden las necesidades fundamentales de seguridad eléctrica, enfocándose en las prácticas seguras de trabajo, el uso del EPP (Equipo de Protección Personal) adecuado, los requisitos de seguridad relacionados con el mantenimiento del sistema de suministro eléctrico, los requisitos de seguridad para equipos especiales y los requisitos de seguridad para las instalaciones.

#### 1.4.1 ARTÍCULO 90

El propósito de esta norma es proveer de forma práctica un área de trabajo segura a los trabajadores en relación con los riesgos que se derivan del uso de la electricidad

Esta norma también incluye prácticas seguras de trabajo para empleados que desempeñan otras actividades laborales que puedan exponerlos a peligros eléctricos, así como prácticas de trabajo seguras para los siguientes usos:

- (1) Instalaciones de conductores y equipos que se conectan al suministro de electricidad.
- (2) Instalaciones utilizadas por las empresas de energía eléctrica, como edificios de oficinas, depósitos, garajes, talleres y edificios recreativos que no forman parte integral de una planta generadora, una subestación o un centro de control.

#### 1.4.2 ARTÍCULO 100

Definiciones:

**Distancia de trabajo (Working Distance).** La distancia entre la cara y el área del pecho de una persona y una fuente potencial de arco.

**Energía incidente (Incident Energy).** La cantidad de energía térmica expuesta sobre una superficie a una cierta distancia de la fuente generada durante un evento de arco eléctrico. La energía incidente generalmente es expresada en calorías sobre centímetro cuadrado (cal/cm<sup>2</sup>).

**Análisis de la energía incidente (Incident Energy Analysis).** Un componente de la evaluación de riesgo de relámpago de arco que se utiliza para predecir la energía incidente de un relámpago arco para un conjunto específico de condiciones.

**Evaluación de riesgo (Risk Assessment).** Un proceso integral que identifica peligros calcula la probabilidad de ocurrencia de heridas o daño a la salud, calcula la severidad potencial de las heridas o el daño a la salud, y determina si se requieren medidas de protección.

**Condición de trabajo eléctricamente segura (Electrically Safe Work Condition).** Un estado en el que el conductor o una parte del circuito en el que se va a trabajar o está próximo al mismo, se ha desconectado de partes energizadas, bloqueando/etiquetando de acuerdo con las normas establecidas, probando para asegurar la ausencia de voltaje y, si es necesario, puesto a tierra temporalmente para proteger al personal.

**Peligro eléctrico (Electrical Hazard).** Una condición peligrosa tal que el contacto o la falla de equipos pueden resultar en un choque eléctrico, quemadura por relámpago de arco, lesiones térmicas, o heridas causadas por ráfaga de arco.

**Peligro de relámpago de arco (Arc Flash Hazard).** Una fuente de posibles heridas o daños a la salud asociada con la posible liberación de energía causada por un arco eléctrico.

**Frontera de aproximación restringida (Boundary, Restricted Aproxche).** Un límite de aproximación a una distancia desde un conductor expuesto o parte del circuito energizado, dentro de la cual aumenta la probabilidad de choque eléctrico debido al arqueo combinado con movimientos inadvertidos.

**Persona calificada (Qualified Person).** Persona que ha demostrado habilidades y conocimientos relacionados con la construcción y el funcionamiento de las instalaciones y los equipos eléctricos y que ha recibido capacitación en seguridad para identificar los peligros y evitar los riesgos asociados.

**Programa de seguridad eléctrica (Electrical Safety Program).** Un sistema documentado que consiste en principios, políticas, procedimientos y procesos de seguridad eléctrica que rige las actividades apropiadas para el riesgo asociado a los peligros eléctricos.

**Seguridad eléctrica (Electrical Safety).** La identificación de los peligros asociados con el uso de la energía eléctrica y la toma de precauciones para reducir el riesgo que representan dichos peligros.

#### 1.4.3 ARTÍCULO 105

Aplicación de los procedimientos y prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad

Prioridad: la eliminación de peligros será la primera prioridad en la implementación de prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad.

#### 1.4.4 ARTÍCULO 110

Requisitos generales para prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad eléctrica general. El empleador debe implementar y documentar un programa general de seguridad eléctrica que ordene las actividades adecuadas para los riesgos relacionados con los peligros eléctricos. El programa de seguridad eléctrica debe ser implementado como parte del sistema integral de gestión de seguridad y salud ocupacional del empleador, siempre que exista uno.

Condición de mantenimiento. El programa de seguridad eléctrica debe incluir elementos que consideren la condición del mantenimiento de los sistemas y equipos eléctricos.

Conocimiento y autodisciplina. El programa de seguridad eléctrica debe diseñarse con el fin de proporcionar conocimientos acerca de los potenciales peligros eléctricos a los empleados que trabajan en un entorno con presencia de riesgos eléctricos. El programa debe ser desarrollado para establecer la autodisciplina requerida para todos los empleados que deben desempeñar trabajos que puedan involucrar peligros eléctricos. El programa debe inculcar los principios y controles de seguridad.

Procedimientos del programa de seguridad eléctrica. El programa de seguridad eléctrica debe identificar los procedimientos a utilizar antes de que los empleados expuestos a un peligro eléctrico comiencen a trabajar. Este programa debe incluir un procedimiento de evaluación de riesgo.

Elementos de un procedimiento de evaluación de riesgo. El procedimiento de evaluación de riesgo debe contemplar la exposición de los empleados a los peligros eléctricos y debe identificar el proceso que utilizará el empleado antes de comenzar el trabajo, con el fin de llevar a cabo lo siguiente:

- (1) Identificar los peligros.
- (2) Evaluar los riesgos.
- (3) Implementar el control del riesgo siguiendo una jerarquía de métodos de control de riesgos.

Jerarquía de los métodos de control de riesgo. El procedimiento de evaluación de riesgos debe requerir que los métodos de control preventivo y de protección contra el riesgo sean implementados de acuerdo con la siguiente jerarquía:

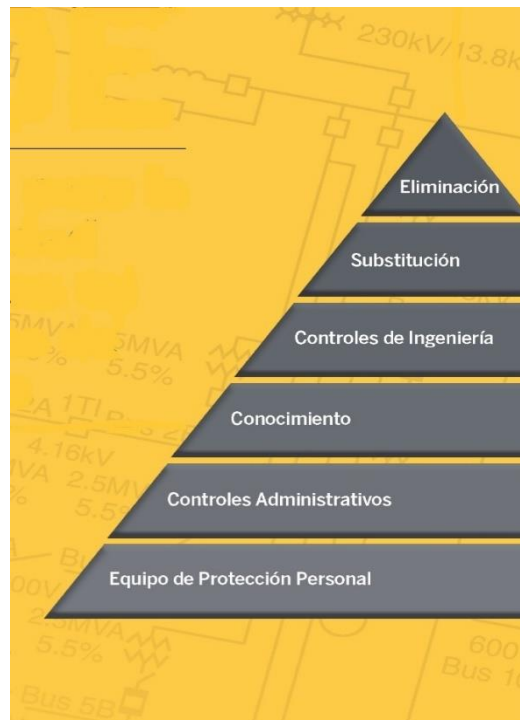


Imagen N°3: Pirámide, Jerarquía de los métodos de control de riesgo.

Fuente: Norma NFPA-70E

**Persona calificada:** Una persona calificada debe estar entrenada y ser conocedora de la construcción y operación de los equipos o un método de trabajo específico y estar entrenada para reconocer y evitar los peligros eléctricos que se puedan presentar con respecto a ese equipo o método de trabajo.

#### 1.4.5 ARTÍCULO 120

Estableciendo una condición de trabajo eléctricamente segura.

Principalmente se centra en los dispositivos de bloqueo y etiqueta.

Se permitirá un procedimiento de bloqueo y etiqueta complejo, donde existan uno o más de los siguientes:

- (1) Múltiples fuentes de energía.
- (2) Múltiples grupos de trabajo.

- (3) Múltiples oficios.
- (4) Múltiples empleadores.
- (5) Múltiples lugares.
- (6) Múltiples medios de desconexión.
- (7) Secuencias particulares.
- (8) El trabajo o tarea comprende más de un turno de trabajo.

#### 1.4.6 ARTÍCULO 130

Trabajos que involucran peligros eléctricos.

Trabajo energizado.

Peligros adicionales o aumento del riesgo. El trabajo energizado será permitido donde el empleador pueda demostrar que des energizar introducirá peligros adicionales o incrementará los riesgos.

Inviabilidad. El trabajo energizado se permitirá donde el empleador pueda demostrar que la tarea a realizar es inviable en estado des energizado debido al diseño del equipo o por limitaciones operativas.

Condiciones de operación normal. La operación normal del equipo eléctrico se debe permitir donde exista una condición de operación normal. Una condición de funcionamiento normal existe cuando se cumplen todas las siguientes condiciones:

- (1) El equipo está instalado apropiadamente.
- (2) El equipo está mantenido apropiadamente.
- (3) El equipo es utilizado de acuerdo con las instrucciones en el listado y etiquetado acorde a las instrucciones del fabricante.
- (4) Las puertas del equipo están aseguradas.
- (5) Todas las tapas del equipo están cerradas y aseguradas.
- (6) No existe evidencia de falla inminente.

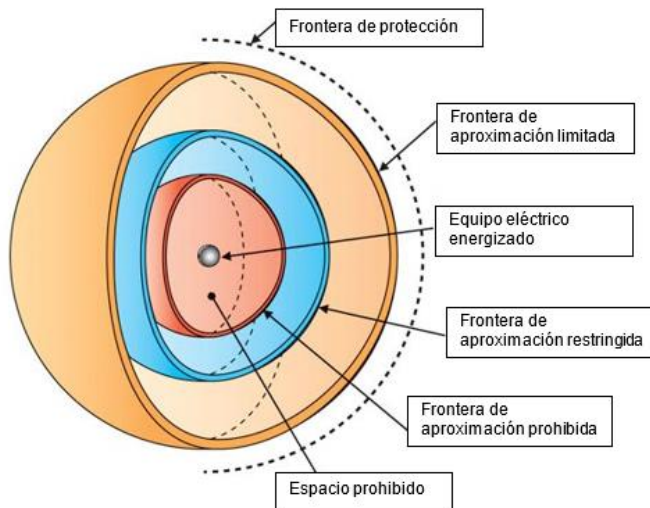


Imagen N°4: Límites de aproximación

Fuente: NFPA 70E. Anexo informativo C.

**Fronteras de protección contra choque:** las fronteras de protección contra choque identificadas como fronteras de aproximación limitada y frontera de aproximación restringida deben ser aplicadas donde el personal que se aproxima está expuesto a conductores eléctricos o partes de circuitos energizados.

Trabajar en o cerca de la frontera de aproximación limitada. Cuando una o más personas no calificadas(s) trabajen en o cerca de la frontera de aproximación limitada, la persona designada que esté a cargo del espacio de trabajo en el que exista un riesgo eléctrico debe avisar a la/las persona(s) no calificada(s) acerca del riesgo eléctrico y advertirles que permanezcan fuera de la frontera de aproximación limitada.

Frontera de aproximación restringida. Ninguna persona no calificada debe acercarse o tomar ningún objeto conductor cerca de conductores eléctricos energizados expuestos o partes de circuitos, o más allá de la frontera de aproximación restringida mostrada en la tabla 130.4 (D) (a y b), a menos que se aplique alguna de las siguientes condiciones:

(1) La persona calificada se encuentra aislada o resguardada de los conductores eléctricos o partes de circuitos energizados que operan a 50 volts o más. Guantes aislantes o guantes



y mangas aislantes, se consideran aislamiento sólo con respecto a las partes energizadas sobre las cuales se está realizando el trabajo.

(2) Los conductores eléctricos o partes de circuitos eléctricos energizados están aislados de la persona calificada y de cualquier otro objeto conductor que se halle a un potencial diferente.

Tabla N°1: Tabla 130.4 (D)(a) Frontera de aproximación a conductores eléctricos o partes de circuitos energizados para protección contra choque eléctrico para sistemas de corriente alterna.

Fuente: NFPA 70E. Artículo 130.

(1) Rango de tensión nominal del sistema, fase a fase <sup>a</sup>	(2) Frontera de aproximación limitada <sup>b</sup>		(4) Frontera de aproximación restringida <sup>b</sup> ; incluye el agregado de movimientos involuntarios
	(2) Conductor móvil expuesto <sup>c</sup>	(3) Parte de circuito fijo expuesto	
<50 V	No especificado	No especificado	No especificado
50 V-300 V	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 6 pulg.)	Evitar Contacto
301 V-750 V	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 6 pulg.)	0.3 m (1 pies 0 pulg.)
751 V-15 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.5 m (5 pies 0 pulg.)	0.7 m (2 pies 2 pulg.)
15.1 kV-36 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.8 m (6 pies 0 pulg.)	0.8 m (2 pies 7 pulg.)
36.1 kV-46 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	2.5 m (8 pies 0 pulg.)	0.8 m (2 pies 9 pulg.)
46.1 kV-72.5 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	2.5 m (8 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 3 pulg.)
72.6 kV-121 kV	3.3 m (10 pies 8 pulg.)	2.5 m (8 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 4 pulg.)
138 kV-145 kV	3.4 m (11 pies 0 pulg.)	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.2 m (3 pies 10 pulg.)
161 kV-169 kV	3.6 m (11 pies 8 pulg.)	3.6 m (11 pies 8 pulg.)	1.3 m (4 pies 3 pulg.)
230 kV-242 kV	4.0 m (13 pies 0 pulg.)	4.0 m (13 pies 0 pulg.)	1.7 m (5 pies 8 pulg.)
345 kV-362 kV	4.7 m (15 pies 4 pulg.)	4.7 m (15 pies 4 pulg.)	2.8 m (9 pies 2 pulg.)
500 kV-550 kV	5.8 m (19 pies 0 pulg.)	5.8 m (19 pies 0 pulg.)	3.6 m (11 pies 10 pulg.)
765 kV-800 kV	7.2 m (23 pies 9 pulg.)	7.2 m (23 pies 9 pulg.)	4.9 m (15 pies 11 pulg.)

#### 1.4.7 ARTÍCULO 250

Equipo de seguridad y protección personal.

- (1) Equipo de puesta a tierra.
- (2) Pértigas.
- (3) Guantes de hule, mangas de hule y protectores de cuero.
- (4) Instrumentos de prueba.
- (5) Mantas y similares equipos de aislamiento.
- (6) Mallas aislantes y similares equipos aislantes.
- (7) Barreras de protección.
- (8) Dispositivos exteriores de los interruptores automáticos extraíbles.
- (9) Unidades portátiles de iluminación.
- (10) Equipo de protección de puesta a tierra temporal.
- (11) Calzado dieléctrico.
- (12) Vestidos de protección.
- (13) Puentes de unión.
- (14) Herramientas de mano aislada y aislantes.

#### 1.4.8 MÉTODOS CÁLCULO ENERGÍA INCIDENTE

A continuación, se mostrarán los métodos para el cálculo energía incidente.

- (1) NFPA-70E: Establece valores de tensión, los cuales dependen netamente del tipo de instalación; para este método existen dos categorías; aparatos eléctricos en la caja o aire libre y la segunda categoría correspondiente a líneas y cables eléctricos. Dependiendo del tipo de instalación se establecerán otros parámetros los cuales muestran en la tabla N°3. Cabe destacar que más que un método la NFPA-70E nos entrega información necesaria para ciertos tipos de trabajo mediante tablas y así poder realizar el cálculo de la energía incidente.
- (2) IEEE 1584: Es el recomendado por la norma NFPA-70E, cuando se requiere obtener un resultado con mayor precisión, además es el más complejo de calcular ya que la cantidad de parámetros que se requieren en la fórmula nos entrega un valor mucho más cercano a la energía incidente ofrecida por la instalación siendo esto su mayor ventaja con respecto a los otros dos métodos de cálculo.

Tabla N°2: Métodos para el cálculo de energía incidente.

Fuente: [https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo\\_imagenes/grupo.do?path=1068978](https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1068978)

Parámetros	NFPA 70E		IEEE 1584
	Aparata eléctrica al aire o en caja	Líneas y cables eléctricos	Aparata eléctrica al aire o en caja. Líneas y cables eléctricos
Tipo de Instalación <sup>(a)</sup>			
Nivel de Tensión	208 – 600 V	1 – 800 kV	208 V – 15 kV
Distancia de Trabajo	≥ 457 mm	Varios <sup>(a)</sup>	≥ 457 mm
Rango de corrientes de cortocircuito <sup>(b)</sup>	16 – 50 kA	Cualquiera	0,7 – 106 kA
Tiempo de exposición	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Tabla N°3: Método NFPA 70E

Fuente: [https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo\\_imagenes/grupo.do?path=1068978](https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1068978)

<b>NFPA 70E</b>	Arco libre	$E = 5271 \cdot D^{-1,9593} \cdot t \cdot [0,0016 \cdot I_{bf}^2 - 0,0076 \cdot I_{bf} + 0,8938]$
	Arco en Caja (Caja de 20") <sup>(1)</sup>	$E = 1038,7 \cdot D^{-1,4739} \cdot t \cdot [0,0093 \cdot I_{bf}^2 - 0,3453 \cdot I_{bf} + 5,9675]$
	Línea o cables eléctricos (1 – 800 kV)	$E = \emptyset \cdot t$

E, energía calorífica incidente (cal/cm<sup>2</sup>)  
D, distancia de trabajo (pulgadas)  
I<sub>bf</sub>, corriente de falla (kA)  
t, tiempo de duración del arco (s). Para las líneas y cables eléctricos, este tiempo, se deriva del tiempo de corte de los dispositivos de protección de la línea.  
∅, flujo de calor radiado (cal/(cm<sup>2</sup>·s)). Este valor se obtiene a partir de las tablas D.8(1) y D.8(2), en base a la tensión de la línea, en kV y a la corriente de falla prevista, en kA.  
<sup>(1)</sup>, Cuando se tienen cuadros eléctricos y envoltentes de tamaño superior a 20 pulgadas, su valor se situará entre el valor estimado a partir de un arco libre y del arco en caja.



Tabla N°4 Método IEEE 1584

Fuente: [https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo\\_imagenes/grupo.do?path=1068978](https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1068978)

<b>IEEE 1584</b>	$E = C_f \cdot E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right)$ $E_n = 10^{(K_1 + K_2)}$ $\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \cdot \log(I_a) + 0,0011 \cdot G$ $I_a = 10^{(K_3)}$		
	V < 1 kV	$\log(I_a) = K + 0,662 \cdot \log(I_{br}) + 0,0966 \cdot V + 0,000526 \cdot G + 0,5588 \cdot V \cdot (\log(I_{br})) - 0,00304 \cdot G \cdot \log(I_{br})$	
	1 kV < V < 15 kV	$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \cdot \log(I_{br})$	
<p>E, energía calorífica incidente (cal/cm<sup>2</sup>)  E<sub>n</sub>, energía calorífica incidente normalizada (J/cm<sup>2</sup>)  G, distancia entre conductores (mm)  V, tensión nominal (kV)  I<sub>br</sub>, corriente de falla (kA)  D, distancia de trabajo (mm)  t, tiempo de duración del arco (s)  K, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, constantes dependientes de si es un sistema con tierra, sin tierra o con tierra de alta impedancia  K: -0,153 (aire libre); -0,097 (en caja)  K<sub>1</sub>: -0,792 (aire libre); -0,555 (en caja)  K<sub>2</sub>: 0 (para sistemas sin tierra y con tierra de alta impedancia); -0,113 (para sistemas con tierra)  C<sub>f</sub>, factor de cálculo  1,0 para tensiones superiores a 1 kV  1,5 para tensiones inferiores a 1 kV  x, factor de distancia</p>			
<b>Tensión (kV)</b>	<b>Tipo de aparamenta eléctrica</b>	<b>Distancia entre conductores (mm)</b>	<b>x, Factor de distancia</b>
0,208 – 1	Aire libre	10 – 40	2,000
	Elementos de interrupción	32	1,473
	Cuadros generales y de control de motores (MCC)	25	1,641
	Cable	13	2,000
> 1 – 5	Aire libre	102	2,000
	Elementos de interrupción	13 – 102	0,973
	Cable	13	2,000
> 5 – 15	Aire libre	13 – 153	2,000
	Elementos de interrupción	153	0,973
	Cable	13	2,000

## 1.5 PROCEDIMIENTOS PARA TRABAJO SEGURO

### 1.5.1 REGLAS DE ORO



Imagen N°5: 5 reglas de oro

Fuente: <https://artchist.blogspot.com/2020/11/trabajos-sin-tension-reposicion-tension.html>

#### 1.5.1.1 Desconectar, corte visible o efecto

Antes de iniciar cualquier trabajo eléctrico sin tensión debemos desconectar todas las posibles alimentaciones a la línea, máquina o cuadro eléctrico. Prestaremos especial atención a la alimentación a través de grupos electrógenos y otros generadores, sistemas de alimentación interrumpida, baterías de condensadores o cualquier suministro de energía a nuestro sistema eléctrico.

Consideraremos que el corte ha sido bueno cuando podamos ver por nosotros mismos los contactos abiertos y con espacio suficiente como para asegurar el aislamiento. Esto es el corte visible.

Como en los equipos modernos no es posible ver directamente los contactos, los fabricantes incorporan indicadores de la posición de estos. Si la aparamenta eléctrica está debidamente homologada, tenemos la garantía de que el corte se ha realizado en condiciones de seguridad. Esto es el corte efectivo.

- (1) Interruptores
- (2) Seleccionadores
- (3) Pantógrafos
- (4) Fusibles
- (5) Puentes flojos

La simple observación de la timonería del dispositivo no es garantía suficiente de la apertura de este.

#### 1.5.1.2 Enclavamiento, bloqueo y señalización

Se debe prevenir cualquier posible reconexión, utilizando para ello medios mecánicos (por ejemplo, candados). Para enclavar los dispositivos de mando no se deben emplear medios fácilmente anulables, tales como cinta aislante, bridas y similares.

Cuando los dispositivos sean tele mandados, se debe anular el telemando eliminando la alimentación eléctrica del circuito de maniobra.

En los dispositivos de mando enclavados se señalará claramente que se están realizando trabajos.

Además, es conveniente advertir a otros compañeros que se ha realizado el corte y el dispositivo está enclavado.

#### 1.5.1.3 Comprobación de ausencia de tensión

En los trabajos eléctricos debe existir la premisa de que, hasta que no se demuestre lo contrario, los elementos que puedan estar en tensión lo estarán de forma efectiva.

Siempre se debe comprobar la ausencia de tensión antes de iniciar cualquier trabajo, empleando los procedimientos y equipos de medida apropiados al nivel de tensión más elevado de la instalación.

Haber realizado los pasos anteriores no garantiza la ausencia de tensión en la instalación.

La verificación de ausencia de tensión debe hacerse en cada una de las fases y en el conductor neutro, en caso de existir. También se recomienda verificar la ausencia de tensión en todas las masas accesibles susceptibles de quedar eventualmente sin tensión.

#### 1.5.1.4 Puesta a tierra y cortocircuito

Este paso es especialmente importante, ya que creará una zona de seguridad virtual alrededor de la zona de trabajo.

En el caso de que la línea o el equipo volviesen a ponerse en tensión, bien por una realimentación, un accidente en otra línea (fallo de aislamiento) o descarga atmosférica (rayo), se produciría un cortocircuito y se derivaría la corriente de falta a Tierra, quedando sin peligro la parte afectada por los trabajos.

Los equipos o dispositivos de puesta a tierra deben soportar la intensidad máxima de falla trifásico de ese punto de la instalación, sin estropearse. Además, las conexiones deben ser mecánicamente resistentes y no soltarse en ningún momento. Hay que tener presente que un cortocircuito genera importantes esfuerzos electrodinámicos.

Las tierras se deben conectar en primer lugar a la línea, para después realizar la puesta a tierra. Los dispositivos deben ser visibles desde la zona de trabajo.

Es recomendable poner cuatro juegos de puentes de cortocircuito y puesta a tierra, uno al comienzo y al final del tramo que se deja sin servicio, y otros dos lo más cerca posible de la zona de trabajo.

Aunque este sistema protege frente al riesgo eléctrico, puede provocar otros riesgos, como caídas o golpes, porque en el momento del cortocircuito se produce un gran estruendo que puede asustar al técnico.

#### 1.5.1.5 Señalización de la zona de trabajo

La zona dónde se están realizando los trabajos se señalará por medio de vallas, conos o dispositivos análogos. Si procede, también se señalarán las zonas seguras para el personal que no está trabajando en la instalación.

## **CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACION**

En el siguiente capítulo se procederá a realizar un levantamiento de la instalación eléctrica de MT con una vista de planta.

Esta instalación se añadirá a una línea de media tensión ubicada en el taller eléctrico de la UTFSM sede concepción la cual está detallada en el trabajo de título de Elías Toro Rivera.

Esta instalación constará en primera instancia con un tablero auxiliar general que suministrará mediante tres conductores de 400 V tipo super Flex XLPE 3X8 AWG a un Transformador TUSAN trifásico de 45 kVA que elevará la tensión desde los 400 V hasta 13.2 kV, este mediante tres conductores de 13.2 kV de tipo Cu blando XLPE/PVC 2AWG, suministrarán de energía a nuestra línea de media tensión, mediante un poste HA CGE de 4,8 metros se dispondrá a trasladar la energía recibida por el transformador elevador al Reconector NOJA POWER OMS27 y de este hacia un segundo poste del mismo tipo mencionado anteriormente, para esto se utilizarán tres conductores de 13.2 kV de tipo Cu duro 6 AWG, finalmente se derivará a un transformador RHONA trifásico de 15 kVA que reducirá la tensión de 13.2 kV a 400 V, el cuál constará con su tablero general situado en el poste y a un transformador TUSAN monofásico de 5 kVA que reducirá los valores de tensión desde los 13.2 kV a 231 V. Cabe destacar que los desconectores fusibles a utilizar en el comienzo de la línea son tres de 12 kV 3 A curva T y los utilizados al finalizar la línea de MT serán 4, tres utilizados para el transformador trifásico de 1 A curva T y uno para el transformador monofásico de 2 A curva T.

2.1 ESQUEMA VISTA DE PLANTA DE LA LINEA DE MEDIA TENSIÓN.

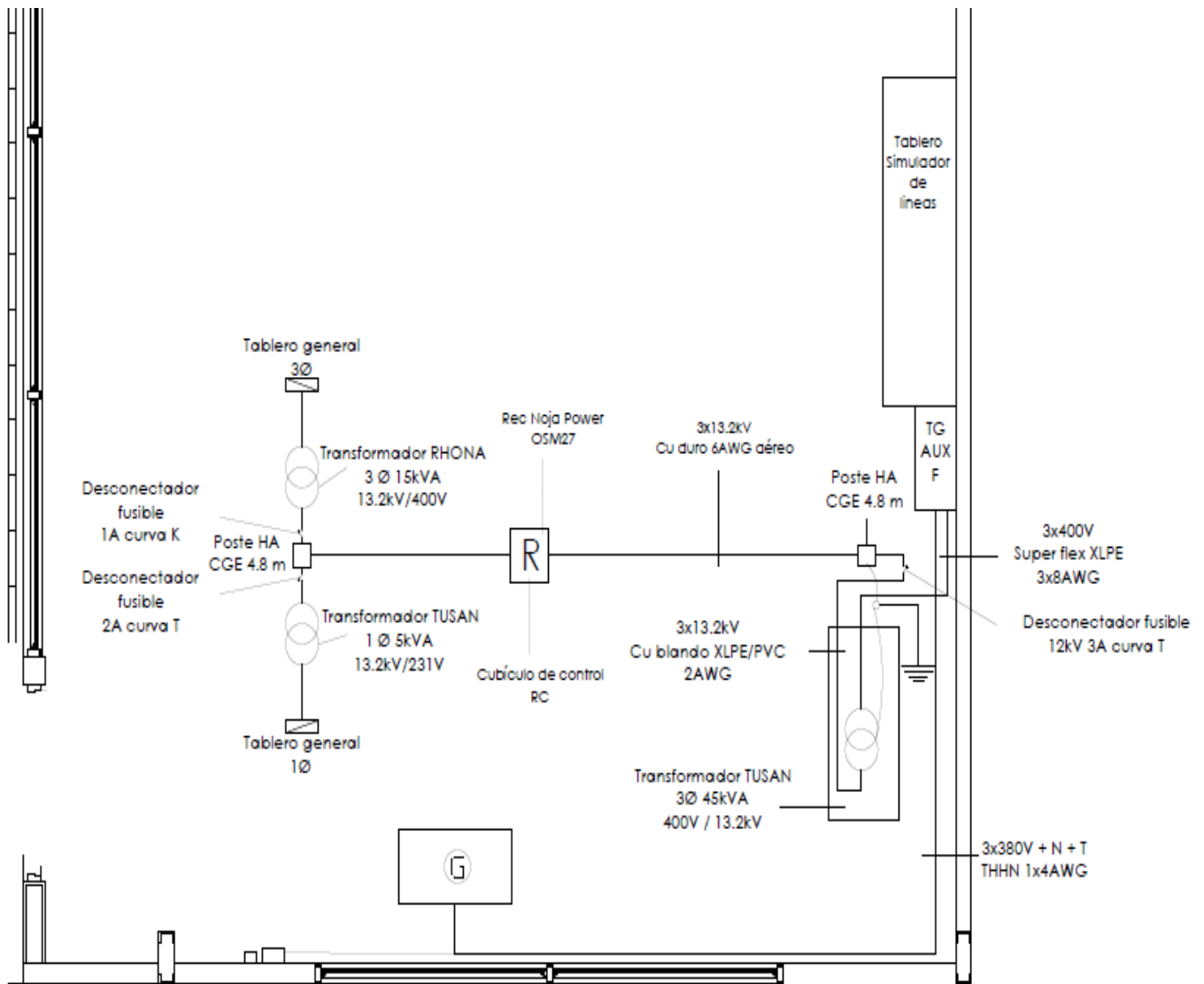


Imagen n°6: Esquema de la línea de media tensión

## 2.2 RECOPIACIÓN DE DATOS

Teniendo los datos entregados por la imagen adjuntada en el punto 2.1, se procederá a realizar una extracción de datos los cuales serán de utilidad posteriormente para realizar cálculos.

### 2.2.1 Noja Power OMS27:

Este equipo será instalado a una altura de 2.773 metros desde el nivel del suelo, su respectivo tablero a una altura de 0.869 metros desde el suelo en su parte inferior y a 1.817 a su parte superior.

Tabla N°5: Datos técnicos Reconectador Noja Power OMS27

<b>Datos técnicos</b>	<b>Magnitud</b>
Máximo voltaje nominal	27 kV.
Corriente continua nominal	800 A.
Capacidad máxima de falla	31,5 kA.
Corriente de falla de corta duración	16 kA.
Corriente de carga de la línea	5 A.
Altitud máxima	3000 m.s.n.m.
Peso tanque	109 kg.

El reconectador OMS27 ofrece una vida útil prolongada y confiabilidad bajo condiciones ambientales más severas. Este es el único equipo de aislamiento dieléctrico sólido que proporciona el control y ventilación de una falla al arco y las pruebas independientes avalan el cumplimiento de esta importante característica de seguridad. Si una falla ocurre el arco interno es contenido y cualquier gas generado es disipado de forma segura. Además, el personal autorizado puede controlar e interrogar al dispositivo sin tener que subir al poste, mediante una aplicación la cual es compatible con dispositivos tales como: smartphone, tablet y/o computadora.

### 2.2.2 Transformador Trifásico RHONA:

Este equipo será instalado a una altura de 2.226 metros desde el suelo, su tablero se dispondrá a una altura 1.169 metros desde el suelo.

Tabla N°6: Datos técnicos de transformador trifásico Rhona.

<b>Datos técnicos</b>	<b>Magnitud</b>
Potencia aparente	15 kVA
Impedancia	4%.
Frecuencia	50 Hz.
Tensión nominal	13200/400 V.
Peso total	215 kg.
Altura máxima	1000 m.s.n.m.
Intensidad nominal	21,65 A.

### 2.2.3 Transformador Monofásico TUSAN

Tabla N°7: Datos técnicos transformador monofásico Tusan.

<b>Datos técnicos</b>	<b>Magnitud</b>
Potencia aparente	5 kVA
Impedancia	4,05%.
Frecuencia	50 Hz.
Tensión nominal	7620/231 V.
Peso total	82 kg.
Altura máxima	1000 m.s.n.m.
Intensidad nominal	21,7 A.

## 2.2.4 Transformador Trifásico TUSAN

Tabla N°8: Datos técnicos transformador trifásico Tusan.

Datos técnicos	Magnitud
Potencia aparente	45 kVA
Impedancia	3,97%.
Frecuencia	50 Hz.
Tensión nominal	13200/400 V.
Peso total	488 kg.
Altura máxima	1000 m.s.n.m.
Intensidad nominal	64,5 A.

Nota: los cálculos de  $I_n$  se hicieron mediante la siguiente ecuación.

Ejemplo: “Transformador trifásico TUSAN”.

$S$ = Potencia aparente.

$V$ = Tensión BT.

$I_n$ = Corriente nominal de la máquina.

$$I_n = \frac{S}{(\sqrt{3} \times V)} = \frac{45000}{(\sqrt{3} \times 400)} = 64,5 \text{ A} \quad (1)$$

### **CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE RIESGOS**

Anteriormente, se analizaron los datos de placa de las máquinas eléctricas, las cuales son dos transformadores trifásicos, un transformador monofásico y un Reconectador. Cada uno de estos equipos al estar energizado disipa una energía calorífica incidente, la cual dependerá netamente del voltaje de la línea de MT que los alimentará.





De acuerdo con lo estudiado en la norma NFPA – 70E, los riesgos de arco eléctrico en máquinas que trabajan con elevadas tensiones son mayor y puede provocar accidentes fatales, por esto es que a continuación se efectuará el cálculo de la energía calorífica incidente que disipa cada equipo. El método que se te utilizará para realizar estos cálculos será el “MÉTODO IEEE 1584”, porque es el más preciso, debido a que considera un mayor número parámetros, los cuales serán necesarios para obtener un resultado certero, esto se debe principalmente a la extracción de datos de terreno.

#### **3.1 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL CONTRA ARCO ELÉCTRICO.**

Los EPP contra arco eléctrico, como su nombre lo dice nos brindan una protección frente al arco. Este genera una explosión la cual, es en sí, un riesgo de quemadura que se mide con la energía calorífica disponible dentro de un equipo, la energía calorífica disponible se denomina energía incidente y se mide en  $\text{cal}/\text{cm}^2$ .

Teniendo en consideración los resultados obtenidos previamente y que, si alguno de los valores supera a  $1,2 \text{ cal}/\text{cm}^2$ , es de carácter obligatorio el uso de EPP contra arco eléctrico. Para elegir el adecuado se debe conocer el tipo de clasificación de estos, los cuales se van a dividir en diferentes categorías, que van principalmente en un intervalo del 1 al 4, las que se detallaran en la siguiente tabla:

Tabla N°9: Categorías de EPP contra arco eléctrico.

CATEGORÍA DE EPP 1	CATEGORÍA DE EPP 2	CATEGORÍA DE EPP 3	CATEGORÍA DE EPP 4
<p><b>Clasificación de arco mínimo</b></p> <p><b>4 (cal/cm<sup>2</sup>)</b></p> <p><b>Ropa de protección contra arco eléctrico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• camisa de manga larga y pantalones o traje entero aptos para arcos eléctricos.</li> <li>• Protector facial o capucha para traje aptos para arcos eléctrico.</li> <li>• Chaqueta, parca, gabardina o revestimiento para cascos aptos para arcos eléctricos (según sea necesario).</li> </ul> <p><b>Otros equipos de protección</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco</li> <li>• Gafas de seguridad</li> <li>• Protección auditiva</li> <li>• Guantes de cuero</li> <li>• Calzado de cuero</li> </ul> 	<p><b>Clasificación de arco mínimo</b></p> <p><b>8 (cal/cm<sup>2</sup>)</b></p> <p><b>Ropa de protección contra arco eléctrico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• camisa de manga larga y pantalones o traje entero aptos para arcos eléctricos.</li> <li>• Capucha para traje o protector facial y pasamontañas aptos para arcos eléctricos.</li> <li>• Chaqueta, parca, gabardina o revestimiento para cascos aptos para arcos eléctricos (según sea necesario).</li> </ul> <p><b>Otros equipos de protección</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco</li> <li>• Gafas de seguridad</li> <li>• Protección auditiva</li> <li>• Guantes de cuero</li> <li>• Calzado de cuero</li> </ul> 	<p><b>Clasificación de arco mínimo</b></p> <p><b>25 (cal/cm<sup>2</sup>)</b></p> <p><b>Ropa de protección contra arco eléctrico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Camisa de manga larga, pantalones traje entero, chaqueta y pantalones de traje aptos para arcos eléctricos.</li> <li>• Capucha para traje apta para arcos eléctricos</li> <li>• Guantes aptos para arcos eléctricos</li> <li>• Chaqueta, parca, gabardina o revestimiento para cascos aptos para arcos eléctricos.</li> </ul> <p><b>Otros equipos de protección</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco</li> <li>• Gafas de seguridad</li> <li>• Protección auditiva</li> <li>• Guantes de cuero</li> <li>• Calzado de cuero</li> </ul> 	<p><b>Clasificación de arco mínimo</b></p> <p><b>40 (cal/cm<sup>2</sup>)</b></p> <p><b>Ropa de protección contra arco eléctrico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Camisa de manga larga, pantalones traje entero, chaqueta y pantalones de traje aptos para arcos eléctricos.</li> <li>• Capucha para traje apta para arcos eléctricos</li> <li>• Guantes aptos para arcos eléctricos</li> <li>• Chaqueta, parca, gabardina o revestimiento para cascos aptos para arcos eléctricos.</li> </ul> <p><b>Otros equipos de protección</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco</li> <li>• Gafas de seguridad</li> <li>• Protección auditiva</li> <li>• Guantes de cuero</li> <li>• Calzado de cuero</li> </ul> 

### 3.2 CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE MÉTODO IEEE 1584

Para la realización de este cálculo es necesario tener en conocimiento los siguientes parámetros:

El **tiempo de duración de arco (t)**, está dado por la protección que cada equipo eléctrico tiene dimensionada, la protección contra sobre corrientes despejaría la falla de arco dentro del rango de 0.02 a 0.03 (s), este dato se obtuvo desde el trabajo de título “PROYECTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN SECTOR DE INSTALACIONES INDUSTRIALES Y LABORATORIO DEMOSTRATIVO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN” de nuestro colega Jairo Lara. Cabe destacar que este valor será utilizado en los equipos los cuales se encuentran aguas arriba del Reconectador e involucran una tensión de 400 V.

Por otro lado, los equipos los cuales estén aguas debajo del Reconectador, serán protegidos eventualmente por este, ya que este equipo se le puede comparar en pequeña escala a un switch, el cual operaría ante una eventual falla en un tiempo de 0.01 (s), cortando el flujo de energía hacia estas máquinas.

La **corriente nominal** por utilizar será indicada individualmente por cada máquina eléctrica.

La **corriente falla** que es igual a la corriente de corto circuito, en una de las máquinas se extrajo directamente de su placa de datos técnico y para el resto de las máquinas se calculó con la siguiente fórmula de igual manera que el ejemplo que se mostrará a continuación:

$Z\%$  = Impedancia de la máquina ( $\Omega$ )

$V$  = Corriente nominal de baja tensión (voltios)

$I_n$  = Corriente nominal de la máquina (A)

$I_{cc}$  = Corriente de corto circuito (kA)

$$I_n = I_{cc} = \frac{I_n BT}{Z\%} = \frac{64.95}{(3.97 \times 100)} = 1.64 \text{ (kA)} \quad (2)$$

La **distancia de trabajo (D)** se extrajo del capítulo n°1, tabla n°2; “Métodos para el cálculo de energía incidente”, referente al método IEEE 1584, a excepción del cálculo de energía calorífica incidente del gabinete general simulador de líneas, el cual se obtuvo de la Norma NFPA 70E, tabla D.4.3 “Distancias típicas de trabajo” (ANEXO A).

Por otro lado, cada constante y fórmula que se utiliza para efectuar el cálculo de la energía incidente que disipa cada máquina se extraen de la tabla N°4 método IEEE 1584, la cual muestra de forma clara y precisa cada variable a tomar en cuenta a la hora de realizar el reemplazo en la fórmula final.

Teniendo claro de donde se extraerán estos datos, se procederá al cálculo de energía incidente para cada equipo eléctrico.

### 3.2.1 ENERGÍA INCIDENTE TRANSFORMADOR TUSAN TRIFÁSICO

Datos de la máquina:

$$S = 45 \text{ (kVA)}$$

$$I_n = 64.5 \text{ (A)}$$

$$V = 13200/400 \text{ (V)}$$

$$I_{bf} = 1.64 \text{ (kA)}$$

$$t = 0.03 \text{ (s)}$$

$$D = 457 \text{ (mm)}$$

#### 3.2.1.1 DESARROLLO DE CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE LADO DE MT 13200 (V)

**Fórmula para 1 kV < V < 15 kV**

$$\log I_{a=} = 0,00402 + 0,983 \times \log(I_{bf}) \quad (3)$$

$$\log I_{a=} = 0,00402 + 0,983 \times \log(1,64) = 0,215 \quad (4)$$

$$I_{a=} = 10^{\log I_{a=}} = 10^{0,215} = 1,64 \quad (5)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \log(E_n) &= (-0,792) + (-0,113) + 1,081 \times \log(1,64) + 0,0011 \times 30 \\ &= -0,639 \end{aligned} \quad (7)$$

$$E_n = 10^{\log E_n} = 10^{-0,639} = 0,23 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (8)$$

$$E = C_f \times E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (9)$$

$$E = 1 \times 0,23 \left( \frac{0,03}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^2}{457^2} \right) = 0,061 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (10)$$

### 3.2.1.2 DESARROLLO DE CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE LADO DE BT 400 (V)

#### Fórmula para V < 1 kV

$$\log I_{a=} K + 0,662 \times \log(I_{bf}) + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times G + 0,5588 \times V \times (\log(I_{bf})) - 0,00304 \times G \times \log(I_{bt}) \quad (11)$$

$$\log I_{a=} - 0,153 + 0,662 \times \log(1,64) + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 30 + 0,5588 \times 0,4 \times (\log(1,64)) - 0,00304 \times 30 \times \log(1,64) = 0,072 \quad (12)$$

$$I_{a=} 10^{\log I_{a=}} = 10^{0,072} = 1,18 \quad (13)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G = -0,794 \quad (14)$$

$$\log(E_n) = (-0,792) + (-0,113) + 1,081 \times \log(1,18) + 0,0011 \times 30 = -0,794 \quad (15)$$

$$E_n = 10^{\log E_n} = 10^{-0,794} = 0,16 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (16)$$

$$E = C_f \times E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (17)$$

$$E = 1,5 \times 0,16 \left( \frac{0,03}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^2}{457^2} \right) = 0,064 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (18)$$

Categoría de EPP adecuada: Categoría 1, para un máximo de 4 (cal/cm<sup>2</sup>).

### 3.2.2 ENERGÍA INCIDENTE TRANSFORMADOR RHONA TRIFÁSICO

Datos de la máquina:

$$S = 15 \text{ (KVA)}$$

$$I_n = 21.65 \text{ (A)}$$

$$V = 13200/400/231 \text{ (V)}$$

$$I_{bf} = 0.54 \text{ (kA)}$$

$$t = 0.01 \text{ (s)}$$

$$D = 457 \text{ (mm)}$$

#### 3.2.2.1 DESARROLLO CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE LADO DE MT 13200 (V)

**Fórmula para 1 kV < V < 15 kV**

$$\log I_{a=} 0,00402 + 0,983 \times \log(I_{bf}) \quad (19)$$

$$\log I_{a=} 0,00402 + 0,983 \times \log(0,54) = -0,259 \quad (20)$$

$$I_{a=} 10^{\log I_{a=}} = 10^{-0,259} = 0,55 \quad (21)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G \quad (22)$$

$$\log(E_n) = (-0,792) + (-0,113) + 1,081 \times \log(0,55) + 0,0011 \times 30 = 1,152 \quad (23)$$

$$E_n = 10^{\log E_n} = 10^{-1,152} = 0,07 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (24)$$

$$E = C_f \times E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (25)$$

$$E = 1 \times 0,07 \left( \frac{0,01}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^2}{457^2} \right) = 0,0062 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (26)$$

### 3.2.2.2 DESARROLLO CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE LADO DE BT 400 (V)

#### Fórmula para $V < 1 \text{ kV}$

$$\log I_{a=} K + 0,662 \times \log(I_{bf}) + 0,0966 \times V + 0,000526 \times G + \quad (27)$$

$$0,5588 \times V \times (\log(I_{bf})) - 0,00304 \times G \times \log(I_{bt})$$

$$\log I_{a=} - 0,153 + 0,662 \times \log(0,54) + 0,0966 \times 0,4 + \quad (28)$$

$$0,000526 \times 30 + 0,5588 \times 0,4 \times (\log(0,54)) -$$

$$0,00304 \times 30 \times \log(0,54)) = -0,31$$

$$I_{a=} 10^{\log I_{a=}} = 10^{-0,31} = 0,489 \quad (29)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G \quad (30)$$

$$\log(E_n) = (-0,792) + (-0,113) + 1,081 \times \log(0,489) + 0,0011 \times 30 \quad (31)$$

$$= -1,20$$

$$E_n = 10^{\log E_n} = 10^{-1,20} = 0,06 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (32)$$

$$E = C_f \times E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (33)$$

$$E = 1,5 \times 0,06 \left( \frac{0,01}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^2}{457^2} \right) = 0,0080 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (34)$$

Categoría de EPP adecuada: Categoría 1, para un máximo de 4 (cal/cm<sup>2</sup>).

### 3.2.3 ENERGÍA INCIDENTE TRANSFORMADOR TUSAN MONOFÁSICO

Datos de la máquina:

$$S = 5 \text{ (KVA)}$$

$$I_n = 22.7 \text{ (A)}$$

$$V = 7620/231 \text{ (V)}$$

$$I_{bt} = 0.56 \text{ (kA)}$$

$$t = 0.01 \text{ (s)}$$

$$D = 457 \text{ (mm)}$$

#### 3.2.3.1 DESARROLLO CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE LADO DE MT 7620 (V)

**Fórmula para 1 kV < V < 15 kV**

$$\log I_{a=} 0,00402 + 0,983 \times \log(I_{bf}) \quad (25)$$

$$\log I_{a=} 0,00402 + 0,983 \times \log(0,56) = -0,243 \quad (36)$$

$$I_{a=} 10^{\log I_{a=}} = 10^{-0,243} = 0,57 \quad (37)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \log(E_n) &= (-0,792) + (-0,113) + 1,081 \times \log(0,57) + 0,0011 \times 30 \\ &= -1,135 \end{aligned} \quad (39)$$

$$E_n = 10^{\log E_n} = 10^{-1,135} = 0,07 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (40)$$

$$E = C_f \times E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (41)$$

$$E = 1 \times 0,07 \left( \frac{0,01}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^2}{457^2} \right) = 0,0062 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (42)$$

### 3.2.3.2 DESARROLLO CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE LADO DE BT 231 (V)

#### Fórmula para $V < 1 \text{ kV}$

$$\log I_a = K + 0,662 \times \log(I_{bf}) + 0,0966 \times V + 0,000526 \times G + 0,5588 \times V \times (\log(I_{bf})) - 0,00304 \times G \times \log(I_{bt}) \quad (43)$$

$$\log I_a = -0,153 + 0,662 \times \log(0,56) + 0,0966 \times 0,231 + 0,000526 \times 30 + 0,5588 \times 0,231 \times (\log(0,56)) - 0,00304 \times 30 \times \log(0,56) = -0,29 \quad (44)$$

$$I_a = 10^{\log I_a} = 10^{-0,29} = 0,512 \quad (45)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G \quad (46)$$

$$\log(E_n) = (-0,792) + (-0,113) + 1,081 \times \log(0,512) + 0,0011 \times 30 = -1,18 \quad (47)$$

$$E_n = 10^{\log E_n} = 10^{-1,18} = 0,07 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (48)$$

$$E = C_f \times E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (49)$$

$$E = 1,5 \times 0,07 \left( \frac{0,01}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^2}{457^2} \right) = 0,0093 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (50)$$

Categoría de EPP adecuada: Categoría 1, para un máximo de 4 (cal/cm<sup>2</sup>).

### 3.2.4 ENERGÍA INCIDENTE RECONECTADOR NOJA POWER OMS-27.

Datos técnicos de la máquina:

$V = 27$  (kV)/ pero está conectado a una línea de 3x13, 2 (kV)

$I_{bt} = 16$  (kA)

$t = 0.01$  (s)

$D = 910$  (mm)

#### 3.2.4.1 DESARROLLO DE CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE MT

**Fórmula para  $1 \text{ kV} < V < 15 \text{ kV}$**

$$\log I_{a=} 0,00402 + 0,983 \times \log(I_{bf}) \quad (51)$$

$$\log I_{a=} 0,00402 + 0,983 \times \log(16) = 1,187 \quad (52)$$

$$I_{a=} 10^{\log I_{a=}} = 10^{1,187} = 15,38 \quad (53)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G \quad (54)$$

$$\begin{aligned} \log(E_n) &= (-0,792) + (-0,113) + 1,081 \times \log(15,38) + 0,0011 \times 103 \\ &= 0,49 \end{aligned} \quad (55)$$

$$E_n = 10^{\log E_n} = 10^{0,49} = 3,09 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (56)$$

$$E = C_f \times E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (57)$$

$$E = 1 \times 3,09 \left( \frac{0,01}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^2}{910^2} \right) = 0,104 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (58)$$

Categoría de EPP adecuada: Categoría 1, para un máximo de 4 (cal/cm<sup>2</sup>).

### 3.2.5 ENERGÍA INCIDENTE GABINETE GENERAL SIMULADOR DE LINEAS MT.

$$V = 400 \text{ (V)}$$

$$I_{bf} = 13 \text{ (kA)}$$

$$t = 0.03 \text{ (s)}$$

$$D = 910 \text{ (mm)}$$

La corriente de falla se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

V= Tensión de línea (voltios)

S= Sección transversal del conductor (mm<sup>2</sup>)

ρ (rho)= Resistividad eléctrica del material conductor (Ωm)

L= Longitud del conductor (m)

$$I_{cc} = \frac{0,8 \times V \times S}{1,5 \times \rho \times 2 \times L} = \frac{0,8 \times 400 \times 21,1}{1,5 \times 0,017 \times 2 \times 10} = 13 \text{ (kA)} \quad (59)$$

#### 3.2.5.1 DESARROLLO DE CÁLCULO DE ENERGÍA INCIDENTE GABINETE MT.

##### **Fórmula para V < 1 kV**

$$\log I_a = K + 0,662 \times \log(I_{bf}) + 0,0966 \times V + 0,000526 \times G + 0,5588 \times V \times (\log(I_{bf})) - 0,00304 \times G \times \log(I_{bf}) \quad (60)$$

$$\log I_a = -0,153 + 0,662 \times \log(13) + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 \times (\log(13)) - 0,00304 \times 13 \times \log(13) = 0,890 \quad (61)$$

$$I_a = 10^{\log I_a} = 10^{0,89} = 7,762 \quad (62)$$

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \times \log(I_a) + 0,0011 \times G \quad (63)$$

$$\log(E_n) = (-0,555) + (-0,113) + 1,081 \times \log(7,762) + 0,0011 \times 13 \quad (64)$$



$$= 0,308$$

$$E_{n=} = 10^{\log E_n} = 10^{0,308} = 2,03 \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (65)$$

$$E = C_f x E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) x \left( \frac{610^x}{D^x} \right) \quad (66)$$

$$E = 1,5 x 2,03 \left( \frac{0,03}{0,2} \right) x \left( \frac{610^2}{457^2} \right) = 0,813 \text{ (cal/cm}^2\text{)} \quad (67)$$

Categoría de EPP adecuada: Categoría 1, para un máximo de 4 (cal/cm<sup>2</sup>).

#### **CAPÍTULO 4: PROTOCOLO DE SEGURIDAD ELÉCTRICA**

En este capítulo se consignarán procedimientos o pasos que se deberán seguir para ejecutar acciones seguras al momento de energizar la instalación en el taller eléctrico que simula una línea de MT.

Anteriormente se estudió detalladamente la norma NFPA 70-E, esta será de utilidad al generar el protocolo de seguridad eléctrica, ya que se basará en su jerarquía de métodos de control de riesgo.

Los principales puntos abordar, serán procedimientos tales como: la selección adecuada de un EPP contra arco eléctrico acorde al valor más alto de energía incidente, para que posteriormente se instruya a cómo realizar una mantención adecuada, seguido de un instructivo de energización/des energización para la línea de MT y finalmente un apartado de señalizaciones y extintor necesario en caso de emergencia.

Estos procedimientos se deberán cumplir en su totalidad sin excepciones.

#### 4.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL CONTRA ARCO ELÉCTRICO.

Tras un análisis previo de la energía incidente, punto 3.2, de cada uno de los equipos que componen la línea de media tensión y el posterior análisis de los EPP contra el arco eléctrico disponibles, punto 3.1, se observa que el valor de energía incidente mayor magnitud es de  $0,813 \text{ cal/cm}^2$ , por lo que se recomienda el uso de una categoría 1 de EPP contra arco eléctrico, esta cubrirá la necesidad de seguridad del personal calificado.

A continuación, se darán a conocer los elementos que componen la vestimenta que se requerirá usar de forma obligatoria. Estos EPP deberán estar certificados y siempre verificados en cuanto al estado en el que se encuentra antes de su utilización.

Tabla N°10: EPP contra arco eléctrico a utilizar.

	<p>Casco de electricista blanco. Gafas de seguridad monocristal, contra los infrarrojos y anti UV. Pasamontañas ignifugo. Chaqueta de electricista, ignifuga, antiestática. Pantalón electricista, ignifugo, antiestático. Cubre guantes de cuero. Bolsa de transporte del equipo Arc Flash.</p>
	<p>Los guantes dieléctricos clase 2 ofrece protección aislante hasta los 17000 VAC (Voltaje Corriente Alterna) o 25500 VDC (Voltaje Directa Corriente).</p> <p>Cada guante ha sido probado y tiene una validez de 12 meses a partir de la fecha de estampado sobre cada guante. Una vez que los guantes han sido puestos en servicio, estos deben ser restituidos cada 6 meses.</p>
	<p>Calzado de seguridad alto con suelas aislantes hasta 20 kV y una corriente de fuga de 0,11 mA.: completamente no metálico y hechos de cuero, puntera de seguridad, liviano y antideslizante.</p>

El uso de estos elementos es indispensable en todo momento, antes de energizar, cuando se encuentre energizado y finalmente al momento de su desenergización.

#### 4.2 MANTENIMIENTO LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN.

Previo a la energización de la instalación que simula una línea de MT, en el taller eléctrico de la universidad, se recomienda una mantención a los componentes involucrados dentro de esta, ya que al encontrarse en inactividad habitualmente, es completamente necesario realizar tal acción preventiva.

A continuación, se detallará una mantención de carácter prioritario, pre-energización de la línea de MT.

##### 4.2.1 MANTENIMIENTO DE AISLADORES

Estos componentes se encuentran en variados puntos de la instalación. La mantención de estos consta de verificar su estado mediante la observación directa, corroborando que no estén trizados, que no se encuentre presencia de polvo ni algún elemento residual y corroborar que los conductores se encuentren bien fijados.

##### 4.2.2 MANTENIMIENTO DE DESCONECTADORES FUSIBLES

Estos componentes se encuentran cercanos a la línea de media tensión en dos puntos de la instalación, la forma correcta de realizarles mantención es revisándolos individualmente, corroborando que no se encuentren deteriorados (quemados, quebrados, con pérdida de alguna pieza).

Posteriormente luego de realizar la revisión de estos, se debe realizar limpieza extrayendo el polvo acumulado y finalizando con el reapriete de bornes de conexión.

##### 4.2.3 MANTENIMIENTO DE CONDUCTORES

Dentro de toda la instalación eléctrica existe el uso de conductores, para el caso la esta línea de media tensión se usan conductores desnudos a los cuales su mantención consta de en primer lugar revisar de forma visual que no haya ningún conductor cortado o muy deteriorado, si es así el cambio de la línea dañada es imprescindible.

También se debe retirar polvo o cualquier elemento residual que se encuentren en los conductores.

Por último, asegurarse que la conexión de los conductores a cada uno de los bornes se encuentre bien apretada firmemente.

#### 4.2.4 MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES

El mantenimiento para los tres transformadores ubicados en la instalación se divide de la siguiente manera:

El sistemático, el cual consta de verificar la limpieza, corrosión, el reapriete de bornes de conexión el estado de los instrumentos indicadores.

El preventivo, en el que se debe comprobar que no exista ninguna fuga de fluido dieléctrico.

El predictivo, este es primordial para el funcionamiento del equipo; en el cual se hacen pruebas eléctricas (relación de transformación, resistencia de devanados, resistencia de aislamiento, factor de potencia) y pruebas de aceite (rigidez dieléctrica)

El correctivo, cuando existen fallas o mal funcionamiento se requerirá este mantenimiento el cual consta de cambio de bobinas, empaques y aceite dieléctrico, pintura general del equipo, reemplazo de instrumentos o repotenciación.

#### 4.2.5 MANTENIMIENTO DE GABINETE DE MEDIA TENSIÓN

El mantenimiento consta del reapriete de cada uno de los bornes de conexión tanto de las protecciones como de las barras de distribución, verificar el estado de los conductores, esto va referido a si hay algún conductor con la aislación en mal estado, quemado o cortado, como también de las protecciones, principalmente corroborar que exista continuidad en posición ON y por último retirar el polvo acumulado tanto en el interior como en el exterior del gabinete.

Considerando todos los elementos que componen la línea de MT, y en caso de requerirse, se podría realizar una limpieza de estos aplicando agua dieléctrica a presión.

De igual manera, al realizar estas acciones, se debe considerar un riesgo asociado. Estos se denominan trabajos en altura y según la ACHS (Asociación chilena de seguridad), se considera trabajo en altura todo aquel que se realice por sobre los 1,8 metros sobre el suelo o plataforma fija y para cualquier trabajo que se efectúe sobre la altura delimitada el trabajador deberá utilizar arnés de seguridad certificado y con fecha vigente. Por lo que se recomienda utilizar un sistema personal para detención de caídas.

Teniendo en cuenta que el arnés de seguridad siempre debe estar siendo usado para trabajar en altura, a continuación, se nombrarán tres tipos de sistema para prevenir este tipo de accidente.

- Arnés para el Cuerpo Completo (ACC). (Anexo B).
- Amortiguador de impacto (C).
- Línea de Vida Vertical (LVV): Autor retráctil. (Anexo D)
- Línea de Vida Vertical Temporal (Anexo E)
- Línea de Vida Vertical Permanente (Anexo F)

Por otro lado, al no encontrarse energizada la línea de MT, no será necesario el uso de los EPP contra arco eléctrico dimensionados, pero se recomienda la utilización de los siguientes protectores:

- 1- Protectores de la cabeza.
- 2- Protectores auditivos.
- 3- Protectores oculares y de la cara.
- 4- Protectores de las vías respiratorias.
- 5- Protectores de manos y brazos.
- 6- Protectores de pies y piernas.
- 7- Protectores de piel (si se está expuesto a radiación solar).

Realizando todas las mantenciones preventivas y considerando la serie de recomendaciones para su realización, se asume que, ya están las condiciones adecuadas y seguras para la interacción con la línea de MT.

#### 4.3 HERRAMIENTAS Y PROCEDIMIENTOS PARA ENERGIZAR Y DES-ENERGIZAR LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN.

A continuación, se mostrarán una serie de herramientas y/o accesorios, que serán necesarios para el proceso de energización y des energización de instalación que simula una línea de MT.

#### 4.3.1 HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Tabla N°11: Herramientas y accesorios.

	<p>Pértiga de maniobra</p>
	<p>Tacón</p>
	<p>Detector de tensión</p>
	<p>Loadbuster</p>
	<p>Alfombra aislante</p>

Teniendo en conocimiento las herramientas y accesorios los cuales serán necesarios para energizar y des energizar, se instruirá de manera detallada a cómo realizar estas acciones.

#### 4.3.2 ENERGIZACIÓN DE LA LÍNEA DE MT

Ante de iniciar con el procedimiento de energización, se debe hacer énfasis en que el encargado de realizar esta acción ya debe estar equipado con el EPP contra arco eléctrico, mencionado en el punto 4.1. También se recomienda, segregar el área y tender una alfombra aislante en donde transitará la persona calificada que realice el procedimiento.

##### 4.3.2.1 Conexión de desconectores fusibles:

1. Para efectuar la maniobra de conexión de los desconectores fusibles, se hace uso de la pértiga telescópica.
2. Se debe enganchar el Talón que se encuentra en la parte superior de pértiga en la argolla del bastón ya estando en esta posición se debe efectuar la secuencia se cierre la cual va en el mismo orden de la secuencia de apertura:
  - 1° cerrar la fase más cercana a la central.
  - 2° cerrar la fase más lejana a central.
  - 3° cerrar la fase central.
3. Se debe realizar el movimiento de forma rápida para evitar la formación de un arco eléctrica, finalizada la maniobra de cierre se debe retirar cuidadosamente la pértiga del último fusible al cual estaba anclada, con el fin de evitar el contacto con línea y así no provocar un corto circuito.

#### 4.3.3 DESENERGIZAR DE LA LINEA DE MT.

##### 4.3.3.1 Apertura de desconectores fusibles aéreos sin carga:

1. Desconectar toda posible alimentación hacia la línea.
2. Prevenir cualquier posible realimentación a través de etiqueta o candado para indicar que se están efectuando trabajos en la zona.
3. Verificar la ausencia de tensión en cada una de las líneas con la pértiga telescópica la cual debe llevar instalado el detector de tensión en su extremo superior, se debe manipular la pértiga haciendo uso de los guantes dieléctricos clase 2.
4. Se debe cortocircuitar y poner a tierra la instalación para que, en caso de alguna realimentación accidental, la descarga no vaya al trabajador.
5. Una vez comprobada la ausencia de tensión, se procede a retirar el detector de tensión de la pértiga y a continuación se instalará el gancho Talón; finalizada la instalación se procede a efectuar la apertura de los fusibles, se debe seguir la siguiente secuencia:
  - 1° abrir la fase más cercana a la central.
  - 2° abrir la fase más lejana a central.
  - 3° abrir la fase central.

#### 4.3.3.2 Apertura de fusibles aéreos con carga:

1. Comprobar el estado del Loadbuster:
  - Destapar la cubierta superior y revisar que la capsula del silenciador se encuentre limpia y en la posición correcta.
  - Verificar el ajuste del Loadbuster, extendiendo manualmente el tubo de ensamble interior de equipo a unos 75 mm. Durante este proceso, se debe sentir que la resistencia mecánica del resorte aumente.
  - Volver el equipo a su condición normal de operación, cerrando el tubo de ensamble interior hasta su posición original.
2. Verificar que la separación entre los desconectores es la adecuada para la operación con Loadbuster y también verificar que los desconectores posean el accesorio (gancho).
3. Iniciar con la secuencia de apertura antes vista:
  - 1° abrir la fase más cercana a la central.
  - 2° abrir la fase más lejana a la central.
  - 3° abrir la fase central.
4. Importante operar por el gancho exterior de los desconectores laterales ya que por lo contrario se reduce la distancia entre partes vivas y por consiguiente la aparición de un arco eléctrico; el desconector central se opera por el lado en donde existe mayor distancia con relación a los desconectores laterales.
5. El procedimiento de uso del Loadbuster es:
  - Acercar a la argolla del bastón del desconector y enganchar el equipo.
  - Cuando el Loadbuster se encuentre conectado a través del contacto superior (cuernos y ancla) e inferior argolla del bastón y gancho de la herramienta) entonces se encuentra listo para ser operado.
6. Para efectuar la apertura del bastón del desconector se debe jalar del Loadbuster con un tirón firme y parejo, sin movimientos vacilantes (este desplazamiento debe ser uniforme) hasta que se escuche el golpe de apertura del equipo.
7. Para retirar el Loadbuster se debe soltar primero la argolla del bastón y girar levemente la pértiga en el sentido contrario a la posición del bastón hasta que este se descuelgue por efecto de gravedad.
8. A continuación, se debe levantar levemente el Loadbuster para retirarlo del cuerno superior del desconector, en esta instancia la distancia entre partes vivas se reduce por lo que se debe colocar mucha atención para evitar la formación de un arco eléctrico.
9. Para proseguir con la apertura de los otros desconectores el Loadbuster debe ser ajustado a su posición inicial levantando el seguro de rearme con el pulgar y empujando el tubo de ensamble interior hasta el final, de modo que el accionador pueda reposicionarse quedando el tubo en condiciones de ser usado nuevamente.

#### 4.4 SEÑALIZACIONES Y EXTINTOR.

En todo lugar de trabajo, es primordial el uso de señalizaciones correspondientes, algunos ejemplos de estas son:

- 1- Señalizaciones de advertencia. (anexo G)
- 2- Señalizaciones de salvamento. (anexo H)
- 3- Señalizaciones de protección contra incendios. (anexo I)
- 4- Señalizaciones de obligación. (anexo J)
- 5- Señalizaciones de prohibición. (anexo K)
- 6- Señalización de advertencia riesgo eléctrico (anexo L)

Por otro lado, el extintor que se debe utilizar en el caso de que se forme un incendio es el extintor de dióxido de carbono clase C, ya que están diseñados para proteger áreas que contienen equipos eléctricos energizados; estos extintores no dejan ningún tipo de residuo después de su utilización, un ejemplo del extintor se encuentre en:

1. Extintor dióxido de carbono clase C. (anexo M)

#### 4.5 RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de este trabajo, siempre se tomó en cuenta los equipos que actualmente se encuentran dentro de la instalación, la cual busca simular el funcionamiento de una línea de media tensión, sin embargo, en este punto se toman en cuenta posibles modificaciones las cuales podrían ser el reemplazo de transformadores por unos de mayor potencia, aumento en la tensión que poseen las líneas de MT, el agregado de una máquina o carga que implique un consumo mayor.

Todas estas modificaciones llevan consigo la probabilidad de que la energía incidente que se produce por las máquinas aumente y por ende la modificación en aspectos de seguridad debería ser necesaria.

En el caso de que la energía resultante por alguna máquina o tablero sea muy elevada, hoy en día existen maneras de disminuir la cantidad de energía calorífica disipada. Los tableros con dispositivos limitadores de arco tienen como objetivo limitar los efectos destructivos del arco interno, una vez que este ya haya sido generado, garantizando la resistencia del tablero al mismo, protegiendo a los operarios y a la instalación.

Ciertos dispositivos descritos a continuación utilizan detectores de arco y detectores de sobrepresión para limitar estos efectos. Los detectores de arco consisten en instalar en el interior de los tableros dispositivos que detectan el flujo luminoso asociado a fenómenos del arco eléctrico y envían una señal al interruptor en 1 -2 ms, tiempos bastantes más rápidos que los del interruptor. Este proceso reemplaza la intervención del relé de sobreintensidad del interruptor que podría verse por ejemplo retardado por cuestiones de selectividad.

En cambio, los detectores de sobrepresión consisten en instalar en el interior de los tableros dispositivos que, como su nombre lo indica, detectan la onda de sobrepresión que se genera por el fenómeno del arco eléctrico. Estos con un retardo de 10-15 ms, son capaces de detectar el pico de presión y enviar una señal al interruptor de alimentación que produce su actuación, sin esperar los tiempos propios de intervención de las protecciones selectivas, necesariamente más largos.

## CONCLUSIÓN

Al desarrollar este estudio, en primera instancia se pudo lograr un aprendizaje amplio sobre la norma NFPA-70E en su última versión del año 2018, para posteriormente lograr la aplicación de esta, también se realizaron cálculos de la energía incidente, se reconocieron tipos de riesgos eléctricos, métodos para el cálculo de energía incidente y con esta información se logró interpretar y seleccionar información, para posteriormente realizar un protocolo de seguridad eléctrica, complementada con prevención por trabajos en altura.

Cabe destacar que el “ESTUDIO Y APLICACIÓN DE LA NORMA NFPA 70E, EN UNA INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN, UBICADA EN EL TALLER ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD”, se orientó exclusivamente a las máquinas eléctricas que conforman esta línea, cada una de estas máquinas se les efectuó un análisis de energía incidente.

Finalmente concluimos, que la implementación de las Jerarquías de métodos de control de riesgos, son fundamentales para asegurar la integridad física de las personas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

NFPA-70E 2018 “National Fire Protection Association”.

Proyecto de instalación eléctrica en sector de instalaciones industriales y laboratorio demostrativo de un sistema de distribución en Media Tensión. Trabajo de título Jairo Lara Ortega 2013, UTFSM, sede Concepción.

N SEG. 5 E.N 71 “Electricidad, instalaciones de corrientes fuertes”.

Arco Eléctrico: estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador. Marcos Pérez Formigó.

[https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo\\_imagenes/grupo.do?path=1068978](https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1068978)

Manual de prevención riesgos eléctricos Asociación Chilena de Seguridad.

<https://www.achs.cl/portal/Empresas/fichas/Documents/manual-prevencion-riesgos-electricos.pdf>

Riesgo térmico producido por arco eléctrico. Jorge Ignacio Argote.

<https://www.interempresas.net/Proteccion-laboral/Articulos/221192-Riesgo-termico-producido-por-arco-electrico.htm>

## ANEXOS

Equipos para prevenir caída de sobre nivel:

<https://higieneysseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/08/seguridad-para-trabajos-en-altura.pdf> (Arnés de cuerpo completo)

<https://trabajoenalturas.wordpress.com/linea-de-vida-autorretractil/> (Línea de vida Autorretráctil)

<https://www.achs.cl/portal/Empresas/Documents/SuperficiesIrregulares/Manual%20Detencion%20Caidas.pdf> (Línea de vida vertical temporal)

<https://www.achs.cl/portal/Empresas/Documents/SuperficiesIrregulares/Manual%20Detencion%20Caidas.pdf> (Línea de vida vertical permanente)

Señalizaciones y extintor:

<http://ebersign.com/senalizacion/senales-advertencia-din> (Señalización de advertencia)

<https://www.google.com/amp/s/dieteticaynutricionweb.wordpress.com/2018/01/11/normas-de-senalizacion/amp/> (Señalización de salvamento)

<https://www.sister-soft.com/productos/senalizacion/senales-estandar/senales-de-prohibicion/> (Señalización de protección contra incendio y de obligación)

<https://www.sister-soft.com/productos/senalizacion/senales-estandar/senales-de-prohibicion/> (Señalizaciones de prohibición)

<https://electricidad-viatger.blogspot.com/2008/04/sealizacin-en-el-lugar-de-trabajo.html> (Señalizaciones de prohibición)

<http://www.segutecnica.com/escalera-dielectrica-extensible-26-escalones--det--000446> (escalera dieléctrica)

<https://rhona.cl/producto/5329/pertiga-de-maniobra.html> (pértiga de maniobra)

<https://rhona.cl/producto/9983/detector-de-tension.html> (Detector de tensión)

<https://www.sandc.com/es/productos-y-servicios/productos/loadbuster--la-herramienta-rompecarga-de-sc/> (Loadbuster, Tacón)

<https://sofamel.com/es/pr/seguridad/st-79-215-1> (loseta aislante ST-79)



<https://sofamel.com/es/pr/banquetas/mod-ste-213-15> (banqueta aislante)

<https://rhona.cl/producto/8680/alfombra-aislante.html> (alfombra aislante)

<https://senalproyectjr.com.mx/tienda/equipo-de-seguridad/extintores/extintor-co2-5-libras/> (Extintor CO2, clase C).

## ANEXO A: TABLA DISTANCIAS TÍPICAS DE TRABAJO, NFPA 70-E.

Tabla D.4.3 Distancias típicas de trabajo

Clases de Equipos	Distancias Típicas de Trabajo* (mm)
Tablero de distribución 15Kv	910
Tablero de distribución 5kV	910
Tablero de distribución de bajo voltaje	610
CCM y paneles de bajo voltaje	455
Cable	455
Otro	A determinarse en campo

\* Las distancias típicas de trabajo son la suma entre el trabajador, el frente del equipo y la distancia desde el frente del equipo a la potencial fuente de arco dentro del equipo.

## ANEXO B: ARNES DE CUERPO COMPLETO

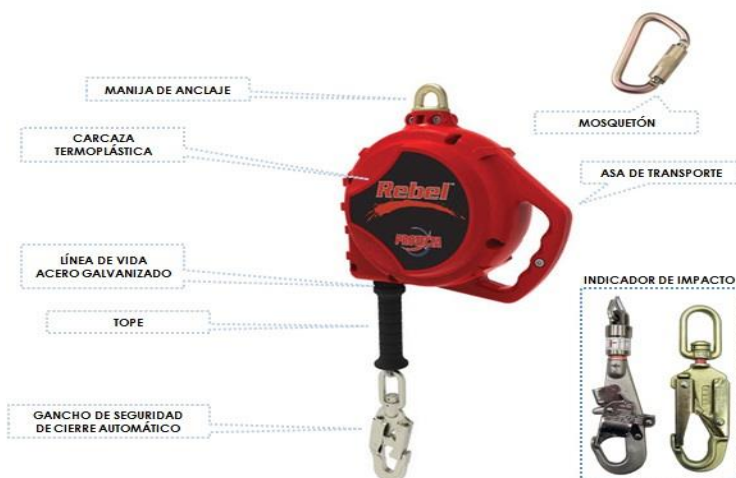


Fuente: Manual para trabajo en altura elaborado por la ACHS

### ANEXO C: AMORTIGUADOR DE IMPACTO

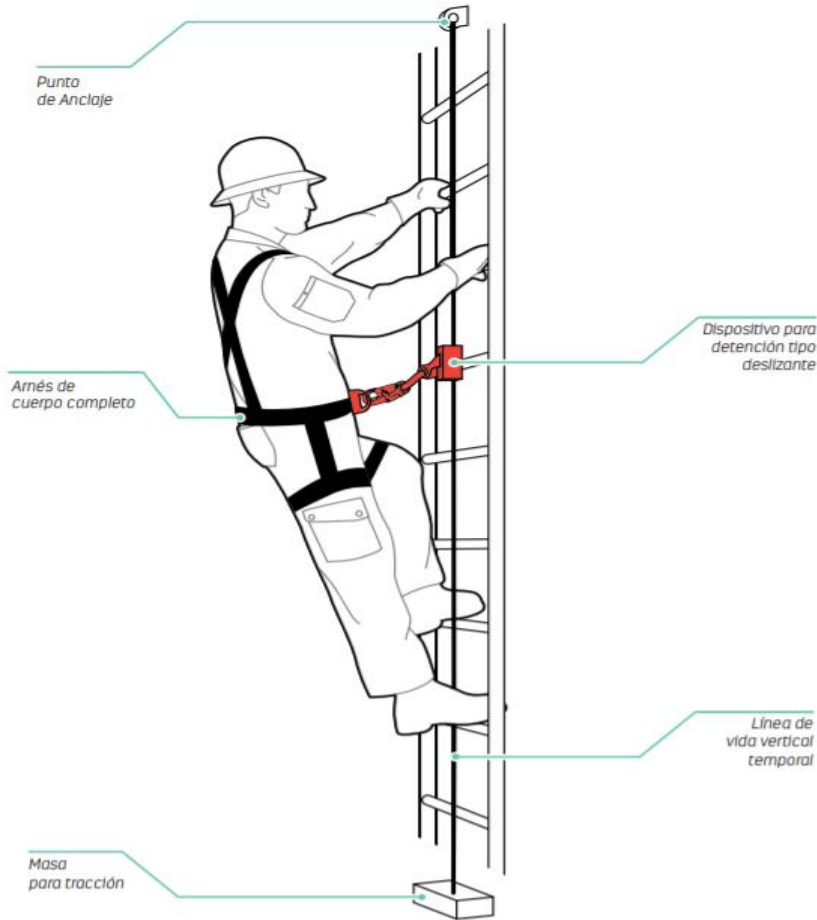


### ANEXO D: LINEA DE VIDA AUTORETRACTIL



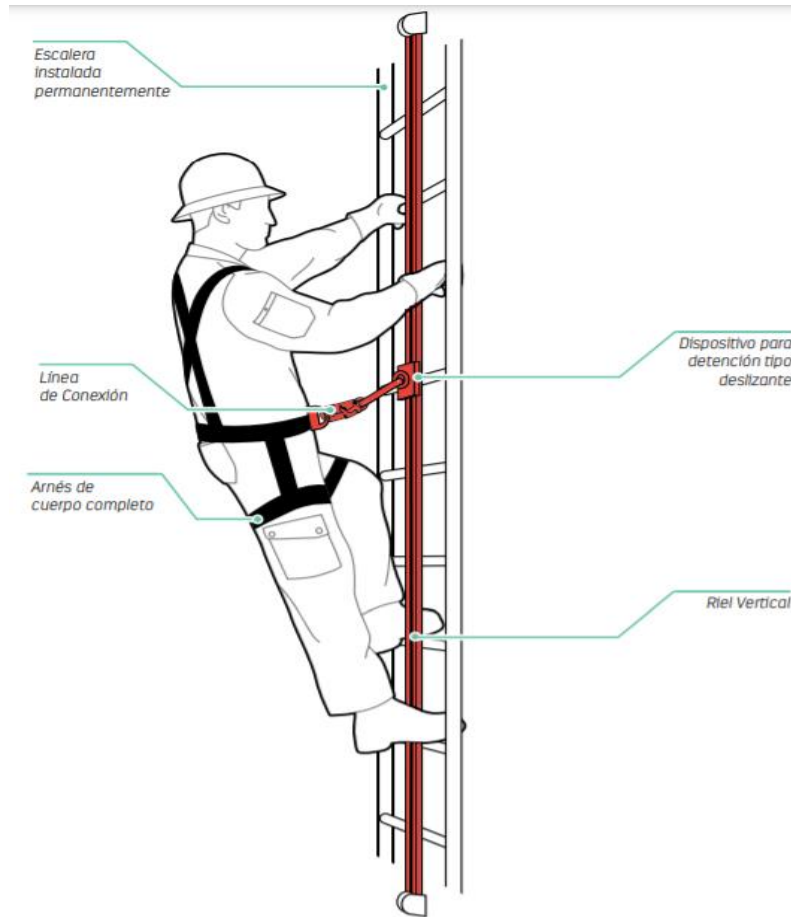


### ANEXO E: LINEA DE VIDA VERTICAL TEMPORAL





## ANEXO F: LINEA DE VIDA VERTICAL PERMANENTE



## ANEXO G: SEÑALIZACIONES DE ADVERTENCIA



materias  
inflamables



materias  
explosivas



materias  
tóxicas



materias  
corrosivas



materias  
radiactivas



cargas  
suspendidas



campo magnético  
intenso



riesgo de  
tropezar



caída a  
distinto nivel



vehículo de  
manipulación



riesgo  
eléctrico



peligro en  
general



radiaciones  
láser



materias  
comburentes



radiaciones  
no ionizantes



riesgo  
biológico



baja  
temperatura



materias nocivas  
o irritantes

## ANEXO H: SEÑALIZACIONES DE SALVAMENTO



Dirección que debe seguirse  
(señal indicativa adicional a las siguientes)



Primeros auxilios

Camilla

Ducha de  
seguridad

Lavado de ojos



Salida de socorro

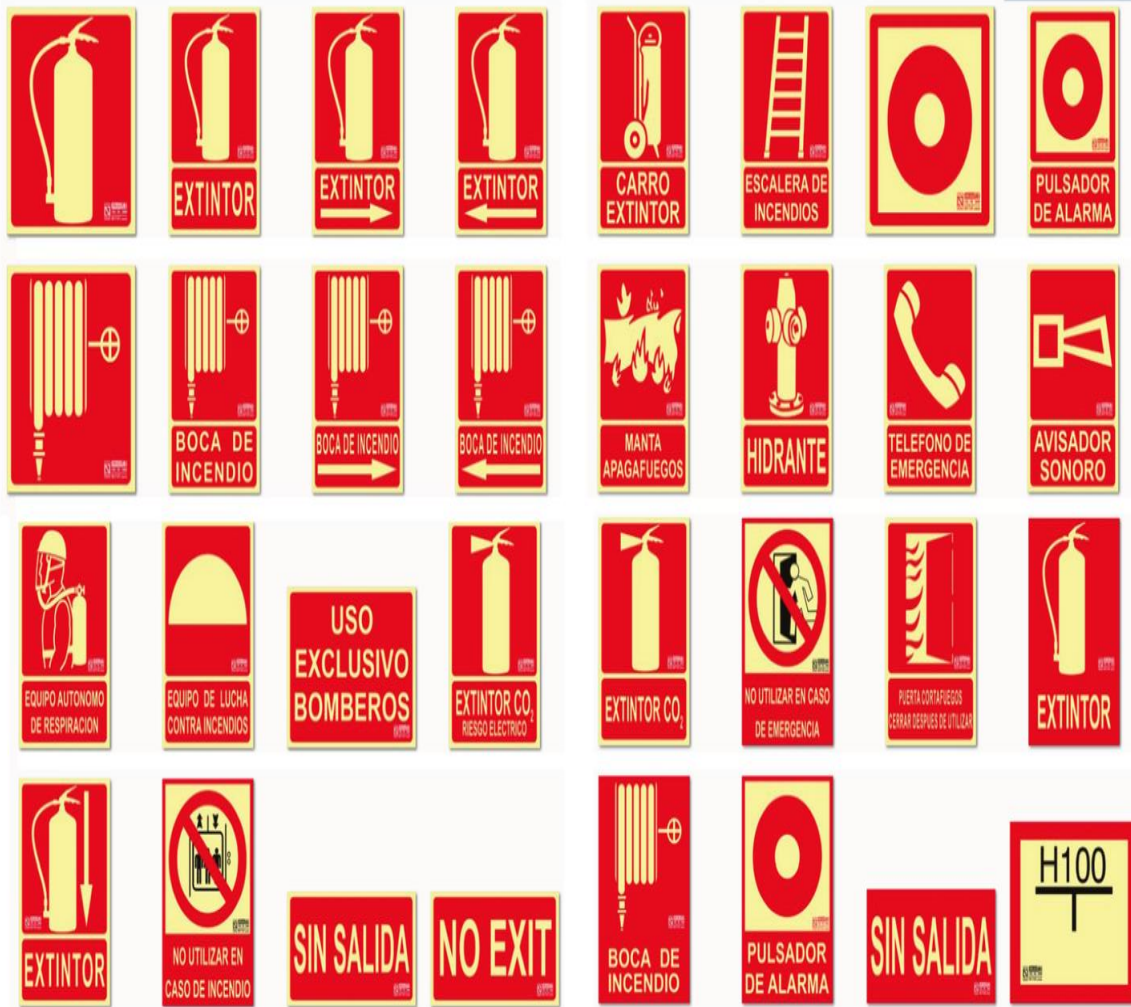
Punto de reunión

Teléfono de  
salvamento

Desfibrilador



## ANEXO I: SEÑALIZACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS





## ANEXO J: SEÑALIZACIONES DE OBLIGACIÓN



### ANEXO K: SEÑALIZACIONES DE PROHIBICIÓN



## PROHIBICIÓN



### ANEXO L: ADVERTENCIA RIESGO ELECTRICO



**ANEXO M: EXTINTOR CO2 CLASE C**

