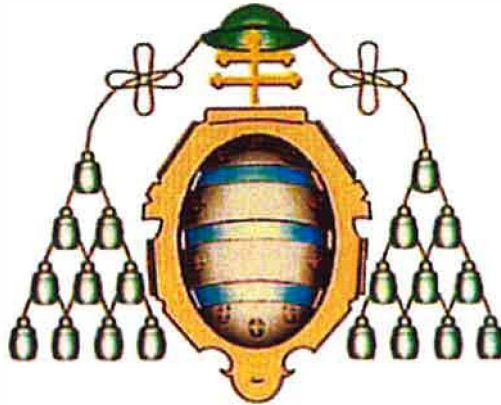


UNIVERSIDAD DE OVIEDO



Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Trabajo Fin de Máster

**PROTECCIÓN PERSONAL EFICAZ
FRENTE A LOS EFECTOS TÉRMICOS DE
UN ARCO ELÉCTRICO EN BAJA
TENSIÓN**

Elena Pérez García

Director: D. Pedro Riesgo Fernández

~~Colaborador externo:~~ D. Santiago Mayordomo Fernández

Julio, 2017

AGRADECIMIENTOS

Quería agradecer la ayuda prestada para la realización de este trabajo a Javier Jiménez Botero, técnico del Servicio de Prevención Mancomunado de una importante empresa del sector eléctrico, a Jorge Fernández Álvarez, experto eléctrico y jefe de Servicios Técnicos de Alta Tensión de una gran empresa eléctrica y al colaborador externo que consta en la portada de este documento, Santiago Mayordomo Fernández, Coordinador de prevención en el área de Distribución Eléctrica, con el que tuve el placer de colaborar y del que aprendí durante mis prácticas en dicha empresa.

Gracias a su ayuda, a sus explicaciones, a sus aportes de información y a su implicación en la elaboración de este trabajo, ha sido posible el siguiente resultado, siempre colaborando desinteresadamente y mostrándose cercanos y amables a cualquier duda que surgía.

¡Muchas gracias!

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Planteamiento y objetivos del trabajo	2
2.1.	Planteamiento y objetivos	2
2.2.	Alcance	3
3.	Procedimientos, materiales y métodos.....	4
3.1.	Definiciones y marco normativo	5
3.1.1.	Abreviaturas	5
3.1.2.	Conceptos	6
3.1.3.	Marco normativo	7
4.	Desarrollo, resultados y discusión general.....	8
4.1.	Trabajos en instalaciones eléctricas de baja tensión.....	8
4.1.1.	Trabajos con la instalación sin tensión.....	9
4.1.2.	Trabajos con la instalación con tensión.....	9
4.2.	Riesgo eléctrico.	11
4.2.1.	Peligros de la electricidad	11
4.2.2.	Contactos eléctricos.....	12
4.2.3.	Arco eléctrico	13
4.3.	Escenarios según potencia de cortocircuito.....	17
4.4.	Formación e información para trabajos eléctricos en bt.....	18
4.5.	Energía calorífica o energía térmica.....	21
4.5.1.	Métodos de cálculo de la energía calorífica desprendida en un arco eléctrico	22
4.5.2.	Cálculos de energía calorífica	30

4.5.3.	Requisitos para operar en función de la potencia calorífica..	40
4.5.4.	Definir EPI's para trabajos eléctricos con riesgo de arco eléctrico	41
4.6.	Materiales disponibles en el mercado.....	46
4.6.1.	Ropa de trabajo.....	46
4.6.2.	Ropa de protección.....	46
4.6.3.	Ropa de trabajo en combinación con la de protección.....	73
4.7.	Encapsulado de elementos adyacentes con tensión.....	74
4.7.1.	Banquetas y alfombrillas	74
4.7.2.	Telas y separadores vinílicos.....	75
5.	Conclusiones y recomendaciones	76
6.	Bibliografía	77
7.	Anexos	80
7.1.	Anexo I. NTP 957.....	81
7.2.	Anexo II. Resultados energía calorífica incidente mediante métodos NFPA 70E y IEEE 1584 para intensidades de cortocircuito máximas	85
7.3.	Anexo III. Resultados energía calorífica en cuadro de BT para distintos tiempos e intensidades de cortocircuito según método NFPA 70E y IEEE 1584 ...	87
7.4.	Anexo IV. Ejemplo de etiqueta de ropa de protección.....	90
7.5.	Anexo V. Catálogo de ropa de protección ELASTIS FR.....	91
7.6.	Anexo VI. Catálogo de ropa de protección INDURA ULTRA SOFT	94
7.7.	Anexo VII. Catálogo de vestuario de protección frente a arco eléctrico en función de la energía calorífica.....	97

Índice de Figuras

FIGURA 1. ZONAS DE TRABAJOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BT	10
FIGURA 2. ZONAS DEL CUERPO HUMANO AFECTADAS POR LAS QUEMADURAS DEBIDO A ARCO ELÉCTRICO (FUENTE: SEGURINSA. CATÁLOGO: ARC FLASH)	15
FIGURA 3. CAPAS DE LA PIEL Y TIPOS DE QUEMADURAS EN LA PIEL.....	16
FIGURA 4. CUADRO RESUMEN DE LA FORMACIÓN/CAPACITACIÓN MÍNIMA DE LOS TRABAJADORES EN BT	20
FIGURA 5. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO DE ENERGÍA CALORÍFICA INCIDENTE.....	24
FIGURA 6. ÁMBITO DE APLICACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA ENERGÍA CALORÍFICA ASOCIADA A UN ARCO ELÉCTRICO	25
FIGURA 7. LÍMITE DE PROTECCIÓN FRENTE AL ARCO ELÉCTRICO (FPB). FUENTE: NTP 904	26
FIGURA 8. FRONTERAS DE PROTECCIÓN Y APROXIMACIÓN AL ARCO ELÉCTRICO SEGÚN EL MÉTODO NFPA-70E	27
FIGURA 9. MÉTODO NFPA 70E	28
FIGURA 10. MÉTODO IEEE 1584.....	29
FIGURA 11. MÉTODO GENÉRICO.....	30
FIGURA 12. ESQUEMA DE RED CONSIDERADA PARA EL ESTUDIO	31
FIGURA 13. DATOS DE POTENCIAS E INTENSIDADES MÁXIMAS DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN DISTINTOS PUNTOS DE LA RED.....	32
FIGURA 14. EXPRESIÓN PARA EL CÁLCULO DEL FPB (FUENTE: NTP 957).....	33
FIGURA 15. CÁLCULOS DE FPB	33
FIGURA 16. ESQUEMA DE LA RED CON LAS PROTECCIONES Y LOS PUNTOS DE ESTUDIO.....	34
FIGURA 17. GRÁFICAS DE LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN.....	35
FIGURA 18. DATOS DE ICC MÁXIMA POSIBLE EN MT Y TIEMPO DE DESCONEXIÓN DE LOS FUSIBLES	36
FIGURA 19. GRÁFICA FUSIBLES DE BT DE CALIBRE 400A.....	37
FIGURA 20. TABLA CON RESULTADOS DE ENERGÍA CALORÍFICA PARA DISTINTAS INTENSIDADES Y TIEMPOS DE DESCONEXIÓN MEDIANTE EL MÉTODO IEEE 1584	39
FIGURA 21. TABLA CON RESULTADOS DE ENERGÍA CALORÍFICA PARA DISTINTAS INTENSIDADES Y TIEMPOS DE DESCONEXIÓN MEDIANTE EL MÉTODO IEEE 1584	40
FIGURA 22. PANEL INFORMATIVO DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA CT'S	41
FIGURA 23. CASCO IDRA.....	42
FIGURA 24. GUANTES DE PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS TÉRMICOS	43
FIGURA 25. GUANTES AISLANTES ELÉCTRICOS	44
FIGURA 26. GUANTES DE PROTECCIÓN MECÁNICA.....	45

FIGURA 27. CALZADO DE SEGURIDAD.....	45
FIGURA 28. PICTOGRAMA DE LA ROPA DE PROTECCIÓN CONTRA EL CALOR Y LA LLAMA (UNE-EN ISO 11612:2008)	47
FIGURA 29. PICTOGRAMA DE LA ROPA DE PROTECCIÓN CONTRA EL CALOR Y LA LLAMA (UNE-EN ISO 11612:2015)	48
FIGURA 30. CUADRO EXPLICATIVO DEL CÓDIGO DEL PICTOGRAMA DE LA ROPA DE PROTECCIÓN FRENTE AL CALOR Y LA LLAMA	48
FIGURA 31. PICTOGRAMA DE LA ROPA DE PROTECCIÓN FRENTE A ARCO ELÉCTRICO.....	49
FIGURA 32. CUADRO DE OPCIONES DE ROPA DE PROTECCIÓN EN CAPAS SEGÚN LA NORMA NFPA 70E	51
FIGURA 33. CARACTERÍSTICAS DE CAMISA DE PROTECCIÓN DE UNA EMPRESA ELÉCTRICA.....	53
FIGURA 34. CARACTERÍSTICAS DE POLO DE PROTECCIÓN DE UNA EMPRESA ELÉCTRICA.....	54
FIGURA 35. CARACTERÍSTICAS DE PANTALÓN Y CAZADORA DE PROTECCIÓN DE UNA EMPRESA ELÉCTRICA.....	54
FIGURA 36. DISPOSICIÓN DE TRES PANELES DE DOS SENSORES (VISTA EN PLANTA) PARA EL ENSAYO (FUENTE: UNE EN 61482-1-1:2009).....	63
FIGURA 37. SECUENCIA DE IMÁGENES DE GENERACIÓN DE ARCO ELÉCTRICO SEGÚN LA NORMA UNE-EN 61482-1-1:2010 (FUENTE: AITEX)	64
FIGURA 38. DISPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL MÉTODO A (FUENTE: AITEX)	65
FIGURA 39. GENERACIÓN DE ARCO ELÉCTRICO EN EL MÉTODO A (FUENTE: AITEX).....	65
FIGURA 40. COMPORTAMIENTO DE LOS TEJIDOS FRENTE A ARCO ELÉCTRICO (FUENTE: AITEX) ..	66
FIGURA 41. POSICIÓN DE LOS MANIQUÍES Y SENSORES DE CONTROL EN EL MÉTODO DE ENSAYO B (FUENTE: UNE-EN 61482-1-1:2009).....	67
FIGURA 42. CONDICIONES DE ENSAYO PARA LAS CLASES 1 Y 2 (FUENTE: UNE EN 61482-1-2:2015)	68
FIGURA 43. DISPOSICIÓN DE LA CAJA DE ENSAYO (FUENTE: UNE-EN 61482-1-2:2015).....	69
FIGURA 44. DISPOSICIÓN DEL MONTAJE DE ENSAYO (FUENTE: UNE EN 61482-1-2:2015)	70
FIGURA 45. MONTAJE DE ENSAYO REAL Y GENERACIÓN DE ARCO ELÉCTRICO PARA MATERIALES. UNE-EN 61482-1-2:2015 (FUENTE: AITEX)	71
FIGURA 46. MUESTRA ANTES DEL ENSAYO Y DESPUÉS DEL ENSAYO PARA MATERIALES. UNE-EN 61482-1-2:2015 (FUENTE: AITEX)	71
FIGURA 47. MONTAJE DE ENSAYO REAL PARA PRENDAS. UNE-EN 61482-1-2:2015 (FUENTE: AITEX).....	72
FIGURA 48. MUESTRA ANTES DEL ENSAYO Y DESPUÉS DEL ENSAYO PARA PRENDAS. UNE-EN 61482-1-2:2015. (FUENTE: AITEX)	73

1. Introducción

La ley 31/1995, de prevención de riesgos laborales, tiene por objeto velar por la seguridad y la salud de los trabajadores estableciendo el marco legal básico. Esta ley en su artículo 14 define el derecho de los trabajadores a la protección eficaz en materia de seguridad y salud que implica un deber por parte del empresario, el cual debe tomar medidas de protección en el desarrollo de las actividades. El artículo 17 define los equipos de trabajo y medios de protección indicando que el empresario velará por el uso efectivo de los equipos de protección individual.

Con este documento lo que se pretende conseguir es definir mayores requisitos en cuanto a las protecciones que deben de utilizarse al desarrollar trabajos en BT.

Para el desarrollo de estos requisitos se tendrá en cuenta el marco normativo legal en la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, que aparece en el RD 614/2001 y en el que se fijan las disposiciones mínimas.

Se considerará el RD 773/1997 en el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual. También se considerarán el RD 486/1997, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, y el RD 485/1997, que establece las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

2. Planteamiento y objetivos del trabajo

La electricidad es una de las formas de energía más utilizadas en los países desarrollados, sin embargo, la siniestralidad laboral de origen eléctrico es más baja que la de otros siniestros. A pesar de la baja siniestralidad, se debe tener en cuenta las graves consecuencias de los accidentes eléctricos, ya que en su mayoría son accidentes graves o mortales. Es por esto que se cree conveniente definir la mejora de las medidas preventivas para evitar o, al menos, disminuir las consecuencias de la exposición a riesgos eléctricos.

En este apartado se planteará la situación que se pretende resolver y los objetivos que se van a alcanzar si se siguen las pautas que se van a definir.

2.1. Planteamiento y objetivos

Las instalaciones eléctricas presentan muchos riesgos, ya sean instalaciones de BT o AT. A la hora de desarrollar trabajos, los trabajadores tienden a protegerse más en las instalaciones de AT ya que son las que mayor riesgo presentan o a las que más respeto se las tiene debido a la gravedad de sus consecuencias, y se tiende a no considerar tan importante la protección en aquellas de BT en las que, por error, no se consideran graves consecuencias. Por eso, el trabajador se suele confiar y cuando desarrolla trabajos en BT no presta la suficiente atención, no se extreman las medidas oportunas y es ahí cuando surgen los accidentes de BT.

Es cierto que los accidentes más graves ocurren en AT pero, también es cierto, que los accidentes con BT ocurren con mayor frecuencia y pueden llegar a ser muy graves. Es por eso que desde las empresas en las que se desarrollan trabajos eléctricos se cree conveniente definir mayor número de medidas preventivas para llevar a cabo trabajos en instalaciones de BT.

Los principales objetivos que se pretenden conseguir con el desarrollo de este documento son:

Planteamiento y objetivos del trabajo

- Conocer las consecuencias para el cuerpo humano derivado de los efectos térmicos de un arco eléctrico o cortocircuito.
- Conocer la relación entre los daños causados en el cuerpo humano y la potencia del circuito en caso de arco eléctrico o cortocircuito atendiendo a la temperatura generada en estos casos.
- Conocer la potencia calorífica generada en los arcos eléctricos de BT y en base a eso definir las protecciones necesarias para trabajar en este tipo de instalaciones.
- Investigar acerca de nuevos materiales que se presentan en el mercado que protejan frente a riesgos eléctricos.
- Cómo debe ser la formación de los trabajadores que realicen su servicio en instalaciones de Baja Tensión. Cada trabajador ha de tener la debida cualificación y habilitación.
- Determinar la ropa de protección adecuada para paliar o evitar las consecuencias derivadas de los efectos térmicos de un arco eléctrico o cortocircuito.

2.2. Alcance

El presente documento tiene como fin servir de guía de protección frente a riesgos eléctricos en la ejecución, por parte de trabajadores en todo tipo de instalaciones de Baja Tensión, es decir, en todos aquellos aparatos o circuitos que tengan como fin la producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica. Este archivo se utilizará para definir las protecciones que deben tomar los trabajadores a la hora de realizar trabajos en las instalaciones de la compañía que contrata los servicios de la empresa a la que pertenecen.

3. Procedimientos, materiales y métodos

Para la redacción de este documento se ha consultado la información que ofrece el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo):

- Notas técnicas de prevención (NTP)
- Guías Técnicas
- Otros

Igualmente, se han analizado varios accidentes ocurridos en este tipo de instalaciones y con consecuencias para los trabajadores altamente graves. De los informes de investigación de los mismos, se han extraído algunas de las conclusiones que tienen reflejo a lo largo de este documento. Por razones de protección de datos y para no identificar e interferir en algunos de los casos procesales, aún en trámite administrativo y/o judicial de estos sucesos, no se indicará con detalle los aspectos particulares de cada uno.

Se han utilizado como materiales las siguientes herramientas informáticas:

- Microsoft Office
- Programas como Prosafety y Ctaima CAE en los que se consultan los documentos que aportan las empresas.
- Webs de proveedores de material eléctrico y ropa de protección, así como, webs de fabricantes de equipamiento eléctrico y electrónico.

Como aporte de información y enseñanza, se han realizado numerosas visitas a instalaciones de Baja Tensión en las que se ha observado a los trabajadores realizando sus labores y que ha servido para completar este documento basándose en experiencias reales.

A lo largo de las prácticas desarrolladas en una empresa de prestigio, en el sector de energía eléctrica, el autor ha ido adquiriendo unos conocimientos técnicos y preventivos, quedando éstos reflejados en este escrito, como también su formación académica previa de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Mecánica, y el Máster en Prevención de Riesgos Laborales.

3.1. Definiciones y marco normativo

3.1.1. Abreviaturas

AT: Alta Tensión

MT: Media Tensión

BT: Baja Tensión

EPI'S: Equipos de Protección Individual

NFPA 70E: Norma para la seguridad eléctrica en lugares de trabajo. "National Fire Protection Association".

IEEE 1584: Guía para el cálculo de los riesgos derivados del arco eléctrico. "Institute of Electrical and Electronic Engineers".

V: Voltios (Unidad de tensión)

NTP: Nota Técnica de Prevención

CT: Centros de Transformación

CBT: Cabinas de Baja Tensión

CGP: Caja Generadora de Potencia

FPB: Límite de seguridad frente al arco eléctrico.

SSAA: Servicios Auxiliares. (para Subestaciones)

RLL: Resistente a las llamas.

AITEX: Instituto Tecnológico Textil.

Icc: Intensidad de corto circuito.

TRAFO: Transformador.

CGBT: Cuadro General de Baja Tensión.

3.1.2. Conceptos

Empresa de Contrata: Entidad de servicios que realiza los Trabajos en Tensión en Baja Tensión por encargo de la Empresa Eléctrica, con la que le une una relación contractual.

Empresa Ejecutante: Empresa Eléctrica o de Contrata a la que pertenecen los trabajadores que realizan los Trabajos en Tensión en Baja Tensión.

Empresa Eléctrica: Entidad dedicada a la producción y/o transporte y/o distribución de electricidad. Generalmente, será la propietaria de las instalaciones eléctricas de baja tensión en las que se realicen los Trabajos en Tensión.

Instalación Eléctrica de Baja Tensión: Instalación en la que la tensión nominal en corriente alterna supera los 50V sin sobrepasar los 1000V y en corriente continua supera los 75V sin sobrepasar los 1500V.

Arco Eléctrico: Descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa.

Puesta a Tierra: Se define como un conductor enterrado que tiene como finalidad conseguir que en la instalación no existan intensidades peligrosas y además permita el paso a tierra de corrientes de defecto o descargas atmosféricas.

Aparamenta: conjunto de aparatos de maniobra, de regulación y control, de medida, incluidos los accesorios de las canalizaciones eléctricas, utilizados en las instalaciones eléctricas, cualquiera que sea su tensión.

Fusibles: Componente de seguridad utilizado para prevenir daños por exceso de corriente eléctrica en un circuito eléctrico, o para la protección general de equipos eléctricos o electrónicos y redes eléctricas.

Cortocircuito: Circuito eléctrico que se produce accidentalmente cuando conductores de polos opuestos entran en contacto, generando una descarga.

Equipos de Protección Individual: Cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud en el trabajo.

3.1.3. Marco normativo

Ley 31/95 de Prevención de Riesgos Laborales.

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

RD 773/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

RD 614/2001 sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

RD 486/1997 por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

RD 485/1997 sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

4. Desarrollo, resultados y discusión general

4.1. Trabajos en instalaciones eléctricas de baja tensión

A la hora de realizar trabajos en instalaciones eléctricas, según el Art.3 del RD 614/2001, se debe tener en cuenta el lugar de emplazamiento de la instalación y prestar atención a las características específicas del lugar de trabajo como pueden ser: posible presencia de superficies muy conductoras, agua o humedad, la presencia de atmósferas explosivas, materiales inflamables o ambientes corrosivos y cualquier otro factor que pueda incrementar significativamente el riesgo eléctrico. En base a estos factores y al tipo de instalación eléctrica, se decidirá qué equipos eléctricos podrán usarse fijándose en su sistema o protección.

Para realizar maniobras en instalaciones eléctricas, se deben usar determinadas técnicas y procedimientos, definidos en el Art.4 del RD 614/2001, considerando: la evaluación de los riesgos que el trabajo pueda suponer, teniendo en cuenta las características de las instalaciones, del propio trabajo y del entorno en el que va a realizarse.

Es recomendable que los trabajos en instalaciones eléctricas se realicen sin tensión, pero hay excepciones en las que se pueden realizar con tensión.

Antes de realizar trabajos en instalaciones eléctricas se debe tener en cuenta la presencia de una atmósfera peligrosa en el recinto, bien sea, por el propio recinto o, debido al entorno adyacente/próximo al mismo o a los trabajos realizados en éste. Esta atmósfera peligrosa puede deberse a la acumulación de contaminantes tóxicos o inflamables o, a la deficiencia de oxígeno en la misma. El tipo de riesgos derivados de las actividades con sustancias tóxicas realizadas en locales en proximidad no son riesgos propios de la actividad eléctrica pero sí se han de tener en cuenta ya que afectan a los trabajos allí realizados e incrementan el riesgo. Adicionalmente los conductos, tubos generalmente, por los que discurren los conductores eléctricos pueden atravesar espacios donde puede acumularse gases, líquidos o sólidos en descomposición, etc, apareciendo así

sustancias en el aire que impliquen añadir nuevos riesgos a los referidos al ambiente puramente eléctrico.

4.1.1. Trabajos con la instalación sin tensión

Todo trabajo en una instalación eléctrica, o en su proximidad, que conlleve un riesgo eléctrico deberá efectuarse sin tensión.

Para suprimir la tensión se seguirán las cinco reglas de oro:

- Desconectar. Corte visible o efectivo.
- Prevenir cualquier posible realimentación. Enclavamiento o bloqueo si es posible y señalización.
- Verificar la ausencia de tensión.
- Poner a Tierra y en cortocircuito.
- Delimitar la zona de trabajo. Proteger frente a elementos próximos en tensión y establecer una señalización de seguridad.

Previamente a aplicar las reglas de oro sobre un circuito, hay que asegurarse que el circuito al que se le va a quitar la tensión es el circuito sobre el que se va a trabajar. Se debe tener en cuenta el error humano, ya que una equivocación en la supresión de la tensión en el circuito incorrecto, puede conllevar consecuencias fatales. Este comentario se realiza en base a experiencias reales, en las que un error humano de este tipo provocó un desenlace no deseado. A parte de aplicar las cinco reglas de oro, se debe comprobar previamente a realizar el trabajo si el circuito sobre el que se va a trabajar está en tensión o no.

4.1.2. Trabajos con la instalación con tensión

La realización de trabajos en los que la instalación o una parte de ella se mantiene con tensión, pueden ser:

- Trabajos en tensión.
- Trabajos en proximidad de instalaciones eléctricas con tensión.
- Trabajos convencionales.

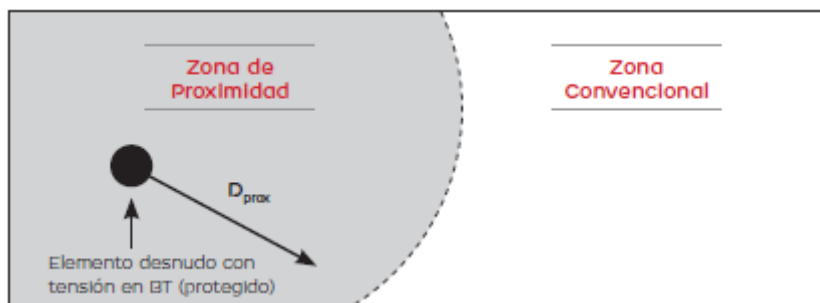


Figura 1. Zonas de trabajos en instalaciones eléctricas de BT

En los trabajos en Tensión, en Baja Tensión, se interviene directamente sobre el elemento con tensión o dentro de la zona definida como Zona de Trabajos en Tensión.

Los trabajos en proximidad de instalaciones eléctricas con tensión, se realizan sobre elementos sin tensión, bien sean de la propia instalación eléctrica o no.

Los trabajos convencionales se realizan en la zona convencional.

Podrán realizarse con la instalación en tensión:

- a) Operaciones elementales tales como conectar-desconectar, en instalaciones de baja tensión con material eléctrico que esté legalmente comercializado, en buen estado y se use de la forma y con el fin adecuado.
- b) Los trabajos en instalaciones con tensiones de seguridad (24 V para emplazamientos mojados y 50 V para emplazamientos secos), siempre que no exista posibilidad de confusión en la identificación

de las mismas y que las intensidades de un posible cortocircuito no supongan riesgos de quemadura.

- c) Las maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones cuya naturaleza así lo exija, tales como por ejemplo la apertura y cierre de interruptores o seccionadores, la medición de una intensidad, la realización de ensayos de aislamiento eléctrico, o la comprobación de la concordancia de fases.
- d) Los trabajos cuyas condiciones de explotación o de continuidad del suministro así lo requieran. La decisión de realizar trabajos en tensión no puede tomarse de forma arbitraria, sino sobre la base de la opción que entrañe el menor riesgo, tanto para los trabajadores como para la población de usuarios dependientes del suministro.

Estos trabajos serán realizados por trabajadores cualificados siguiendo un procedimiento de trabajo escrito.

4.2. Riesgo eléctrico.

4.2.1. Peligros de la electricidad

1. No es perceptible por los sentidos del ser humano.
2. No tiene olor, solo es detectada cuando en un cortocircuito se descompone el aire apareciendo Ozono.
3. No es detectado por la vista.
4. No se detecta al gusto ni al oído.
5. Al tacto puede ser mortal si no se está debidamente aislado. El cuerpo humano actúa como circuito entre dos puntos de diferente potencial. No es la tensión la que provoca los efectos fisiológicos sino la corriente que atraviesa el cuerpo humano.

Los efectos que pueden producir los accidentes de origen eléctrico dependen:

- Intensidad de la corriente.
- Resistencia eléctrica del cuerpo humano.
- Tensión de la corriente.
- Frecuencia y forma del accidente.
- Tiempo de contacto.
- Trayectoria de la corriente en el cuerpo.

Todo accidente eléctrico tiene origen en un defecto de aislamiento y la persona se transforma en una vía de descarga entre elementos a diferente potencial.

4.2.2. Contactos eléctricos

En este apartado se pretende recopilar aquellas formas de contacto eléctrico que se pueden dar al estar manejando equipos eléctricos o estar en instalaciones eléctricas que puedan provocar daños en materiales o personas.

Los contactos eléctricos pueden ser directos o indirectos.

- Contactos directos

Son los contactos de personas con partes activas de los materiales y equipos, considerando partes activas los conductores bajo tensión en servicio normal. Son provocados por el paso de la corriente a través del cuerpo humano. Pueden provocar electrocución, quemaduras y embolias.

- Contactos indirectos

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.

Las consecuencias de este tipo de contactos son:

- Riesgos secundarios por caídas posteriores a una electrocución.
- Quemaduras o asfixia, consecuencia de un incendio de origen eléctrico.
- Accidentes por una desviación de la corriente de su trayectoria normal.
- Calentamiento exagerado, explosión, inflamación de la instalación eléctrica.

4.2.3. Arco eléctrico

Las personas que trabajan en la proximidad de instalaciones eléctricas están expuestas a peligros causados por el arco eléctrico. Los arcos eléctricos son fenómenos poco frecuentes. No obstante, se requiere una protección fiable ya que no se puede excluir la posibilidad de su aparición, en particular porque pueden proceder de acciones durante los trabajos. Técnicamente, el arco eléctrico es una liberación de energía producida por la descarga eléctrica entre electrodos a diferentes potenciales. El arco eléctrico, en general, es el resultado de un cortocircuito eléctrico transportado por el aire. Se trata de una descarga de energía térmica procedente de una fuente eléctrica que, dependiendo de la gravedad del incidente, puede ocasionar quemaduras y lesiones graves o incluso irreversibles. Los peligros del arco eléctrico son una de las principales preocupaciones cuando se trabaja en instalaciones que superan los 220 V de tensión nominal.

La duración del arco puede variar entre una fracción de segundo y varios segundos.

El arco eléctrico ocasiona los siguientes fenómenos:

- Altas temperaturas (Puede llegar hasta 30000°C)
- Aumento de presión
- Proyección de partículas de metal incandescente
- Ruido
- Emisión de rayos ultra violetas
- Incendios y explosiones secundarias en proximidades
- Choque físico

La gravedad del arco depende de las siguientes variables:

- La intensidad de corriente de cortocircuito y el voltaje
- La separación entre electrodos
- Duración del arco (Desde fracciones de segundos hasta varios segundos)
- La distancia entre el lugar donde ocurre el arco y el trabajador afectado
- La geometría del equipamiento o instalación (en función de si es un espacio confinado, aire libre, ...)

El arco se puede producir por:

- Un fallo mecánico
- Una sobrecarga de corriente
- Un contacto accidental

La electricidad siempre recorre el camino que menor resistencia ofrece. Cuando el paso de la electricidad es súbitamente interrumpido (por rotura de aislamiento térmico), la electricidad tratará de recorrer un nuevo camino.

La **energía térmica liberada por un arco eléctrico** se expresa en calorías por cm^2 .

1 cal/cm^2 equivale a la parte más caliente de un mechero encendido durante un segundo mientras que 2 cal/cm^2 equivale a la punta de un cigarrillo.

Una exposición de solo 1-2 calorías causará quemaduras de 2° en la piel humana. El porcentaje de quemaduras del cuerpo define la probabilidad de supervivencia. En la siguiente imagen se muestra qué zonas del cuerpo humano son las más afectadas por la exposición a un arco eléctrico:

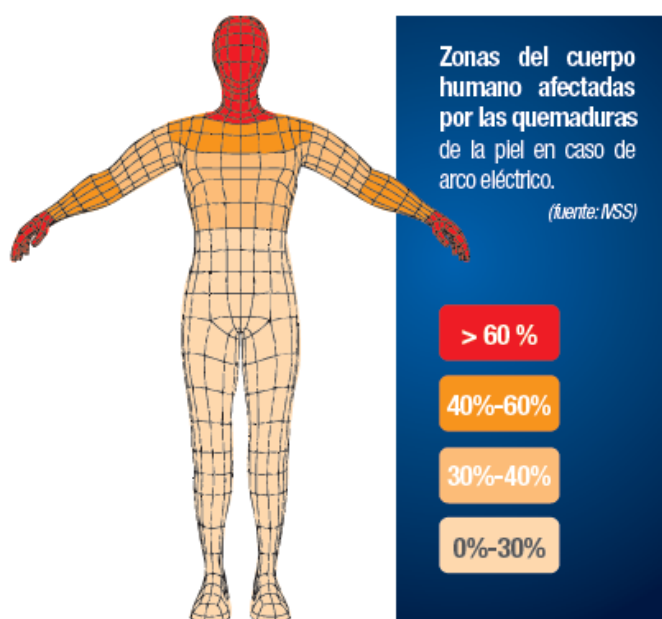


Figura 2. Zonas del cuerpo humano afectadas por las quemaduras debido a arco eléctrico (fuente: Segurinsa. Catálogo: ARC FLASH)

Normalmente los arcos eléctricos liberan de 5 a 30 $\text{calorías}/\text{cm}^2$, y los más extremos liberan hasta desde 30 a 60 $\text{calorías}/\text{cm}^2$. En función de estos valores se

elegirán los equipos de protección individual necesarios para evitar las quemaduras.

Tipos de quemaduras que puede provocar un arco eléctrico:

Primer grado: implica daños en epidermis visibles, enrojecimientos visibles que suelen desaparecer en una semana aproximadamente.

Segundo grado: implica daños tanto en la epidermis como en la dermis con ampollas y enrojecimientos que suele curar a las tres semanas.

Tercer grado: involucra la destrucción de toda la estructura de la epidermis y la dermis, pérdida de gran cantidad de líquidos extravasculares y la destrucción de los vasos sanguíneos en la zona quemada. No es posible la curación natural.

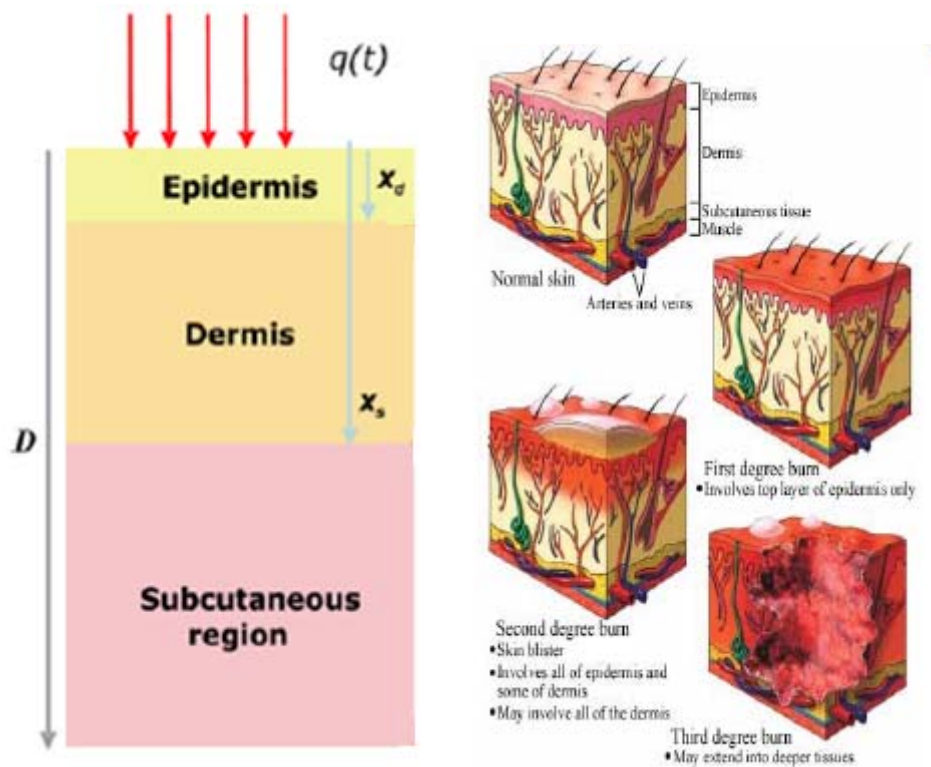


Figura 3. Capas de la piel y tipos de quemaduras en la piel

Las consecuencias del arco eléctrico sobre el trabajador pueden ser:

- Quemaduras debidas al impacto térmico. Las más peligrosas son las de tercer grado, provocadas por la energía de radiación del arco y por las proyecciones de metales fundidos.
- Riesgo de pérdida auditiva debido al ruido y a la presión de la onda de choque acústico (estallido).
- Lesiones provocadas por la inhalación de gases venenosos y partículas que se forman por la mezcla y vaporización de materiales del entorno del arco eléctrico.
- Lesiones en la piel y oculares o deslumbramiento provocados por la intensidad luminosa de la radiación electromagnética, en particular en el rango ultravioleta e infrarrojo, pero también en el rango de la luz visible.

Cómo **evitar peores consecuencias** producidas por el arco eléctrico:

- Ropa de protección debe llevarse puesta en estado cerrado.
- La ropa de protección debe de estar certificada y en buen estado.
- Uso de equipos de protección combinados (casco con pantalla de protección facial, guantes de protección y botas)
- Nunca usar los EPI's de protección conjuntamente con prendas que se puedan fundir con el calor.
- Los rasgados en los tejidos no deben ser reparados por el usuario, debido a que los materiales usados en la reparación pueden ser inflamables.

4.3. Escenarios según potencia de cortocircuito

Se van a diferenciar distintos marcos en los que se pueden ocasionar accidentes eléctricos y se clasificarán según el riesgo y consecuencias que se produzcan en cada caso, a tenor de la potencia de cortocircuito.

Trivial o de menor impacto: usuario de máquinas, equipos y elementos de corte. Aquí se engloba a albañiles, pintores, personal de limpieza, ...

Medio, por proximidad a otros elementos activos. Se incluyen las tareas de control con equipos electrónicos o informáticos, sensores, señales, etc.

Medio/alto, por trabajos de cableados con tensiones de seguridad, pero próximos a otros elementos activos.

Alto, con riesgo grave, por manipulación de circuitos de potencia en CT's, cajas de acoplamiento, CBT, incluso en los dispositivos alojados en los envoltentes metálicos de los elementos activos.

4.4. Formación e información para trabajos eléctricos en bt

La Ley de Prevención de riesgos laborales 31/1995 indica en sus artículos 18 y 19 cómo ha de ser la formación e información que tienen que recibir los trabajadores por parte del empresario.

En cuanto a la información, en el artículo 18, se expone que el empresario informará a los trabajadores acerca de los riesgos que afecten al conjunto de la empresa como a cada puesto de trabajo, de las medidas y actividades de protección y prevención aplicables a los riesgos señalados y de las medidas de emergencias adoptadas. En este artículo también se expresa que: “En las empresas que cuenten con representantes de los trabajadores, la información se facilitará por el empresario a los trabajadores a través de dichos representantes; no obstante, deberá informarse directamente a cada trabajador de los riesgos específicos que afecten a su puesto de trabajo o función y de las medidas de protección y prevención aplicables a dichos riesgos.”

Con respecto a la formación, en el artículo 19, se especifica que el empresario garantizará que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica, suficiente y adecuada, en materia preventiva, tanto en el momento de su contratación, como cuando se produzcan cambios en las funciones que desempeñe o se introduzcan nuevas tecnologías o cambios en los equipos de trabajo.

Desarrollo, Resultados y Discusión general

La formación deberá estar centrada específicamente en el puesto de trabajo o función de cada trabajador, adaptarse a la evolución de los riesgos y a la aparición de otros nuevos y repetirse periódicamente, si fuera necesario.

La formación deberá impartirse, siempre que sea posible, dentro de la jornada de trabajo o, en su defecto, en otras horas, pero con el descuento en la jornada laboral del tiempo invertido en la misma. La formación se podrá impartir por la empresa mediante medios propios o concertándola con servicios ajenos, y su coste no recaerá en ningún caso sobre los trabajadores.

En el RD 614/2001 se indica, en su artículo 5, que “el empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información adecuadas sobre el riesgo eléctrico, así como sobre las medidas de prevención y protección que hayan de adoptarse”.

En el caso del riesgo eléctrico, esta formación e información no solo atañe a los trabajadores que realizan operaciones en las instalaciones eléctricas, sino a todos aquellos trabajadores que, por su cercanía física a instalaciones en tensión o por trabajar en emplazamientos con riesgo de incendio o de explosión, puedan estar expuestos a los riesgos que genera la electricidad. Para establecer la formación adecuada a cada destinatario, es preciso distinguir los destinatarios y adecuar la formación a las actividades que vayan a realizar.

Siguiendo lo expuesto anteriormente, para los trabajadores cuyos cometidos sean instalar, reparar o mantener instalaciones eléctricas, además de la formación e información de nivel básico y sobre las medidas de prevención que se deben adoptar para no invadir la zona de peligro, sobre las protecciones colectivas y los equipos de protección individual (EPI) que, en su caso, deban utilizarse, los trabajadores deberán recibir una formación mucho más amplia y, a la vez, muy específica para cada tipo concreto de trabajo que se vaya a realizar.

En el RD 614/2001 se distinguen tres clases de trabajadores, en función de la formación/cualificación que deban poseer:

- Trabajador autorizado: trabajador que ha sido autorizado por el empresario para realizar determinados trabajos con riesgo eléctrico,

Desarrollo, Resultados y Discusión general

en base a su capacidad para hacerlos de forma correcta, según los procedimientos establecidos en el Real Decreto.

- Trabajador cualificado: trabajador autorizado que posee conocimientos especializados en materia de instalaciones eléctricas, debido a su formación acreditada, profesional o universitaria, o a su experiencia certificada de dos o más años.
- Jefe de trabajo: persona designada por el empresario para asumir la responsabilidad efectiva de los trabajos.

En la siguiente tabla se indica qué tipo de trabajador puede realizar cada clase de trabajo en Baja Tensión:

CLASE DE TRABAJO	TRABAJOS SIN TENSIÓN		TRABAJOS EN TENSIÓN		MANIOBRAS, MEDICIONES, ENSAYOS Y VERIFICACIONES		TRABAJOS EN PROXIMIDAD		TRABAJOS EN EMPLAZAMIENTOS CON RIESGO DE INCENDIO O EXPLOSIÓN	
	Supresión y reposición de la tensión	Ejecución de trabajos sin tensión	Realización	Reponer fusibles	Mediciones, ensayos y verificaciones	Maniobras locales	Preparación	Realización	Sin ATEX presente	Con ATEX presente
BAJA TENSIÓN	A	T	C	A	A	A	A	T	Como mínimo, A	C+P
T = CUALQUIER TRABAJADOR A = AUTORIZADO C = CUALIFICADO C + P = CUALIFICADO Y SIGUIENDO UN PROCEDIMIENTO					2.- La realización de las distintas actividades contempladas se harán según lo establecido en las disposiciones del presente real decreto.					

Cuadro 5. Resumen de la formación/capacitación mínima de los trabajadores

Figura 4. Cuadro resumen de la formación/capacitación mínima de los trabajadores en BT

Es requisito adicional, que debería ser obligatorio, a parte de la formación que tiene que tener, la experiencia que debe poseer un trabajador para realizar trabajos eléctricos. Para que un trabajador sea cualificado se pide una formación acreditada, profesional o universitaria, o una experiencia certificada de dos o más años. A criterio del autor del presente documento, la formación no exime de la experiencia que tendría que requerirse. Las personas que realizan este tipo de

trabajos están expuestos a riesgos específicos con consecuencias fatales, por eso se considera que no es suficiente con la formación que reciben, sino que, adicionalmente, deben tener también una experiencia real en esta clase de trabajos para evitar situaciones de riesgo debidas a errores de principiantes y saber actuar ante determinadas circunstancias. El mejor aprendizaje es la experiencia y, en la ejecución de este tipo de trabajos no se debería permitir poner en riesgo a las personas, tendría que ser requisito adicional a la formación.

En la norma UNE-EN 50110-1:2013 se hace referencia a la formación y cualificación que han de tener aquellos trabajadores que realicen trabajos en tensión. La norma sugiere que se debe implantar un programa específico de formación para desarrollar y mantener la capacidad de los trabajadores cualificados y autorizados para la realización de los trabajos en tensión. Este programa debe estar de acuerdo con los requisitos particulares de los trabajos en tensión y debe comprender ejercicios teóricos y prácticos.

Según la norma, los ejercicios deben ser representativos del trabajo a realizar después de la formación o, si son diferentes del trabajo, deben estar basados en los mismos principios de seguridad.

Esta norma aconseja que, una vez que se finalice de forma satisfactoria la formación, se debe entregar un certificado de formación confirmando que el participante es capaz de realizar trabajos en tensión para los que ha sido formado, y ello en función de su nivel de formación. La norma recomienda confirmar el nivel de aptitud para trabajos en tensión con una autorización para trabajo en tensión.

4.5. Energía calorífica o energía térmica

En este documento se pretende realizar un estudio de la energía calorífica incidente sobre un trabajador debido a un arco eléctrico. Existen distintos tipos de cálculos que vienen especificados en la NTP 904, estos cálculos son en base a normas americanas y en la NTP 957 se desarrolla un caso práctico. Estos métodos

se describirán en el siguiente apartado. El objetivo de estos cálculos es especificar la ropa de protección adecuada para los trabajadores expuestos a arco eléctrico en función de la energía que se puede desprender en estas situaciones.

La energía calorífica o energía térmica desprendida por un arco eléctrico se expresa en cal/cm^2 .

En la evaluación frente a los riesgos térmicos asociados al arco eléctrico es fundamental establecer previamente dos elementos: la zona de peligro frente al arco, a través del “límite de seguridad frente al arco” (FPB) y una estimación de la energía calorífica incidente sobre los trabajadores dentro de dicha zona.

Cuando los niveles de energía calorífica incidente sobre el trabajador, se encuentren dentro del rango de $1,2 - 40 \text{ cal/cm}^2$, será necesario tomar medidas preventivas frente a los riesgos asociados al arco eléctrico.

Para niveles de energía iguales o superiores a 40 cal/cm^2 , no se recomienda realizar trabajos en tensión en la “zona de peligro frente al arco eléctrico” y para niveles de energía inferiores a $1,2 \text{ cal/cm}^2$, no existe riesgo de quemaduras de segundo grado.

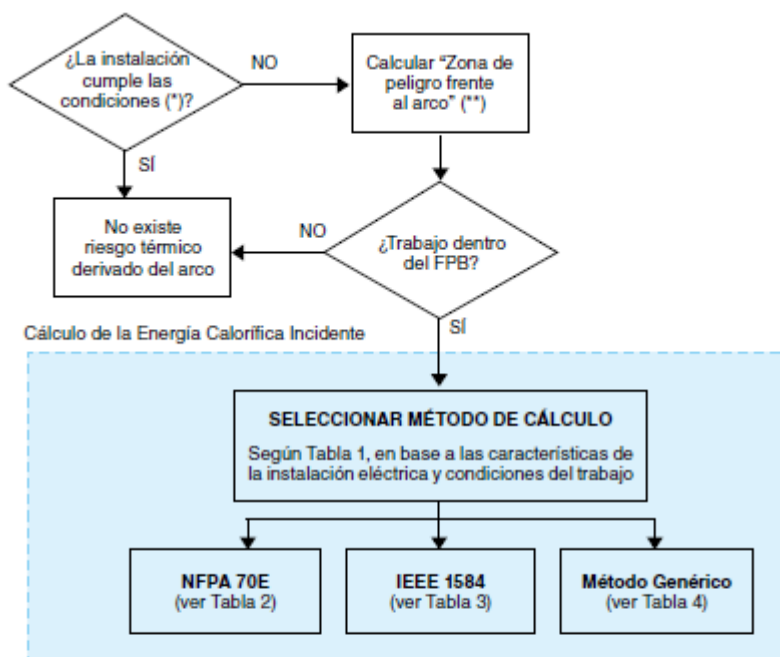
Considerando todos los parámetros que influyen en el cálculo de la energía calorífica incidente sobre un trabajador, se observa que se puede disminuir dicha energía actuando sobre alguno de los siguientes elementos:

- Disminuyendo la tensión de la instalación.
- Disminuyendo la corriente del arco eléctrico.
- Disminuyendo la duración del arco eléctrico.
- Aumentando la distancia del punto de trabajo al arco eléctrico.

4.5.1. Métodos de cálculo de la energía calorífica desprendida en un arco eléctrico

En Europa no consta ninguna norma ni organismo que haya investigado acerca de la energía calorífica incidente sobre el trabajador debido al arco eléctrico. Para evaluar el nivel de riesgo por arco eléctrico existen varios métodos

o normas derivadas de organismos americanos y a los que se hace referencia en la NTP 904. Todos los que se conocen tienen sus limitaciones, antes de utilizarlos en un análisis, hay que saber cuál de ellos resulta más útil dependiendo de la situación que se quiera estudiar. Los métodos que se van a analizar en mayor profundidad son el NFPA-70E y la IEEE-1584 que vienen recogidos en la NTP 904 junto a otro método al que se refiere como Método genérico. Las tablas de la NFPA-70E pueden ser muy fáciles de utilizar y requieren menos cálculos, sin embargo, son muy generales y hacen muchas aproximaciones. La IEEE-1584 basa sus ecuaciones en pruebas de laboratorios, donde las condiciones pueden ser diferentes a las que se tengan en el lugar donde se pretenda hacer el análisis, estas ecuaciones también son basadas en algunos rangos de valores de pruebas, por eso se hace necesario ver si los parámetros del lugar que se quiere analizar están dentro de estos rangos. La naturaleza variable del arco eléctrico hace que sea difícil precisar un modelo, los cuales dependen básicamente de algunos parámetros del sistema. Las preguntas que hay que hacerse es: ¿Cuál se debe escoger? ¿Sirven todos los métodos para cualquier caso? ¿Puedo realizar una combinación de ellos? La respuesta depende de la información disponible que se tenga del sistema y de la necesidad de exactitud que se desee, ya que un mal análisis podría causar un inconveniente mayor, que podría arrojar valores conservativos o valores que conlleven a la elección de una protección no adecuada de las personas. Lo que está claro es que, para asegurar una protección eficaz, se deberá considerar el caso más desfavorable. En la siguiente imagen se muestra qué método se debe seleccionar en función de la situación que se quiera analizar:



Nota:

(*): Si la instalación eléctrica cumple simultáneamente las siguientes condiciones:

- Tensión de la instalación < 250 V (c.a. o c.c.).
- El circuito eléctrico está alimentado por un único transformador de menos de 125 kVA.

El apartado 130.3 NFPA 70E-2009, establece que no es necesario evaluar los riesgos asociados al arco eléctrico, ya que es muy difícil que la energía que porte el arco sea peligrosa.

(**): La zona de peligro frente al arco, se define como aquella zona delimitada por el "Limite de protección frente al arco" (FPB), que es la distancia a la cual la energía incidente sobre el trabajador es igual o superior a 1,2 cal/cm², nivel de energía que puede generar una quemadura de segundo grado en la piel humana.

Figura 5. Selección del método de cálculo de energía calorífica incidente

Una vez identificadas las características de la instalación y del trabajo que se va a realizar, se seleccionará el método NFPA 70E o IEEE 1584, en base a sus ámbitos de aplicación indicados en la siguiente tabla de la NTP 904:

Desarrollo, Resultados y Discusión general

Parámetros	NFPA 70E		IEEE 1584	MÉTODO GÉNÉRICO
Tipo de Instalación ^(a)	Aparatura eléctrica al aire o en caja	Líneas y cables eléctricos	Aparatura eléctrica al aire o en caja. Líneas y cables eléctricos	Aparatura eléctrica al aire
Nivel de Tensión	208 – 600 V	1 – 800 kV	208 V – 15 kV	Cualquiera
Distancia de Trabajo	≥ 457 mm	Varios ^(c)	≥ 457 mm	Cualquiera
Rango de corrientes de cortocircuito ^(b)	16 – 50 kA	Cualquiera	0,7 – 106 kA	Cualquiera
Tiempo de exposición	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
Nota: (a): Se considera aparatura eléctrica, a los aparatos de maniobra, protección, regulación y control, incluidos los accesorios de las canalizaciones eléctricas utilizadas en instalaciones de baja y alta tensión. (b): Se utiliza como corriente de cortocircuito, la corriente de falla franca (bolted fault, en inglés), cortocircuito que presenta una impedancia despreciable en la localización de la falla. (c): Para analizar las distancias de trabajo y distancia entre conductores que entran dentro del ámbito de aplicación de este método, se deben seguir las notas de las tablas D.8 (1) y D.8 (2) del Anexo D de la norma NFPA 70E-2009.				

Figura 6. Ámbito de aplicación de diferentes métodos de cálculo de la energía calorífica asociada a un arco eléctrico

En la evaluación frente a los riesgos térmicos asociados al arco eléctrico es fundamental establecer previamente dos elementos: la zona de peligro frente al arco, a través del “límite de seguridad frente al arco” (FPB) y una estimación de la energía calorífica incidente sobre los trabajadores dentro de dicha zona.

MÉTODO NFPA 70E

Este método ha sido desarrollado por la “National Fire Protection Association” que es un organismo americano encargado de elaborar normas y recomendaciones para la prevención y la protección de los lugares de trabajo. El método NFPA 70E es muy adecuado cuando se dispone de información limitada de los parámetros del sistema, es el menos preciso, ya que es muy general. La evaluación asume el peor de los casos, que se presenta cuando la impedancia de falla es cero; supone que la corriente del arco eléctrico es igual a la corriente máxima de falla. Esta norma establece métodos para calcular la energía calorífica incidente sobre los trabajadores expuestos a este fenómeno y ofrece recomendaciones para la selección y uso de equipos de protección individual

(EPI) que deben portarse dentro de la “Zona de peligro frente al arco”, que queda delimitada a partir del “Límite de protección frente al arco” (Flash Protection Boundary (FPB)).

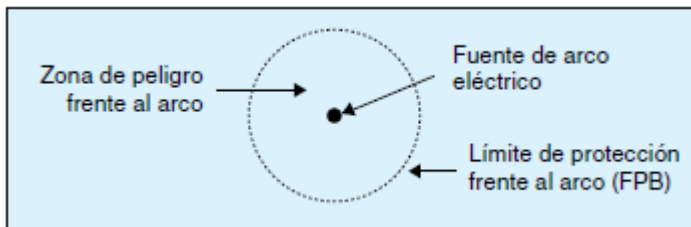


Figura 7. Límite de protección frente al arco eléctrico (FPB).

Fuente: NTP 904

Las ecuaciones para calcular la frontera de protección (FPB) y la energía incidente están basadas en el método de Lee, con las que se encuentra una distancia mínima a la cual una persona expuesta sin ninguna clase de protección, podría recibir una quemadura curable de segundo grado debido a una energía incidente de (5 J/cm^2 ó 1.2 cal/cm^2). El método, desarrollado en el anexo D de la norma NFPA 70E, define una serie de zonas o fronteras de protección relativas a la seguridad eléctrica, la estimación de la energía incidente en el sitio de trabajo, evaluación de las opciones de ingeniería para minimizarlo y el tipo de elementos de protección personal EPP necesarios para cada frontera.

Las fronteras son:

- Frontera de protección contra arco, Flash Protection Boundary.
- Frontera de aproximación limitada, Limited Approach Boundary.
- Frontera de aproximación restringida, Restricted Approach Boundary.
- Frontera de aproximación prohibida, Prohibited Approach Boundary.

La frontera de protección contra arco (ver la siguiente figura), es definida como la distancia mínima desde la fuente de arco hasta el punto donde la energía incidente en caso de presentarse una falla de arco eléctrico sería de 5 J/cm^2 ó 1.2

cal/cm², energía suficiente para producir una quemadura curable de segundo grado para una persona que se encuentre expuesta, sin ninguna clase de protección contra arco. Esta distancia varía dependiendo de la corriente de falla disponible en el momento de la falla y del tiempo de despeje del dispositivo de protección aguas arriba.

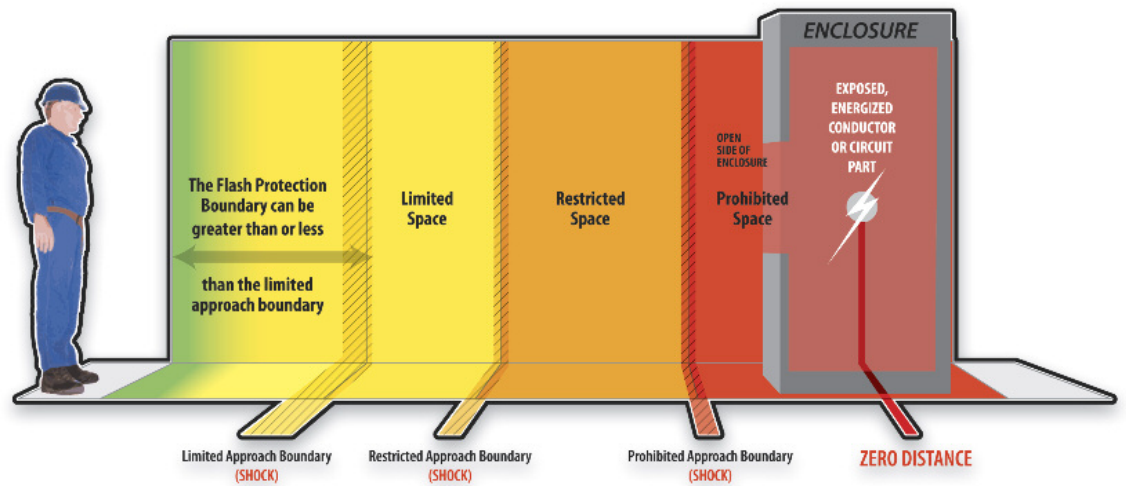


Figura 8. Fronteras de protección y aproximación al arco eléctrico según el método NFPA-70E

El método de cálculo de la energía calorífica incidente sobre un trabajador debido al arco eléctrico viene definido en la Nota Técnica de Prevención del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:

Desarrollo, Resultados y Discusión general

NFPA 70E	Arco libre	$E = 5271 \cdot D^{-1,0693} \cdot t^{0,4738} \cdot [0,0016 \cdot I_{ca}^2 - 0,0076 \cdot I_{ca} + 0,8938]$
	Arco en Caja (Caja de 20") ⁽¹⁾	$E = 1038,7 \cdot D^{-1,4738} \cdot t^{0,4738} \cdot [0,0093 \cdot I_{ca}^2 - 0,3453 \cdot I_{ca} + 5,9675]$
	Línea o cables eléctricos (1 – 800 kV)	$E = \emptyset \cdot t$
<p>E, energía calorífica incidente (cal/cm²) D, distancia de trabajo (pulgadas) I_{ca}, 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/(cm²·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. ⁽¹⁾, Cuando se tienen cuadros eléctricos y envolventes 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.</p>		

Figura 9. Método NFPA 70E

IEEE 1584

La IEEE-1584-2002 es una Guía para el cálculo de los riesgos derivados del arco eléctrico. Esta norma ha sido elaborada por el “Institute of Electrical and Electronic Engineers” y contiene métodos de cálculos que permiten un análisis profundo y una completa solución para fallas de arco eléctrico en sistemas monofásicos y trifásicos, al aire libre o en sistemas trifásicos de recintos cerrados como celdas de media o baja tensión. Las ecuaciones proveen las distancias límite para personal sin ninguna clase de protección y la energía incidente en el espacio de trabajo para el personal calificado que trabaje cerca de equipos energizados. Las ecuaciones utilizadas están respaldadas por múltiples pruebas de laboratorio que las validan. Para la utilización adecuada de esta guía se necesita una evaluación previa del lugar; mayor información del sistema a analizar, como un estudio previo de cortocircuito para tener a la mano la información de los niveles de corriente de cortocircuito en todos los puntos de interés; un análisis de la coordinación de protecciones, que indique los tiempos de despejes de fallas de los dispositivos de protección aguas arriba, tipos de interruptores y demás. Lo detallado que es éste método hace que sea la opción preferida para un análisis de flameo por arco eléctrico; pero a su vez hace que se necesite de una hoja de cálculo compleja o programa de software para ser utilizado de manera eficiente.

En la NTP 904 viene indicado, en la siguiente tabla, el método de cálculo IEEE 1584:

IEEE 1584	$E = C_1 E_n \left(\frac{t}{0,2} \right)^{\left(\frac{610^x}{D^2} \right)}$ $E_n = 10^{K_1 + K_2}$ $\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1,081 \cdot \log(I_{sc}) + 0,0011 \cdot G$ $I_{sc} = 10^{K_3 + K_4}$																																							
	V < 1 kV	$\log(I_{sc}) = K + 0,662 \cdot \log(I_{sc}) + 0,0966 \cdot V + 0,000526 \cdot G + 0,5588 \cdot V \cdot (\log(I_{sc})) - 0,00304 \cdot G \cdot \log(I_{sc})$																																						
	1 kV < V < 15 kV	$\log(I_{sc}) = 0,00402 + 0,983 \cdot \log(I_{sc})$																																						
<p> E_n: energía calorífica incidente normalizada (J/cm²) E: energía calorífica incidente (cal/cm²) G: distancia entre conductores (mm) V: tensión nominal (kV) I_{sc}: corriente de falla (kA) D: distancia de trabajo (mm) t: tiempo de duración del arco (s) K_1, K_2: constantes dependientes de si es un sistema con tierra, sin tierra o con tierra de alta impedancia K_1: -0,153 (aire libre); -0,097 (en caja) K_2: -0,792 (aire libre); -0,555 (en caja) K_3: 0 (para sistemas sin tierra y con tierra de alta impedancia); -0,113 (para sistemas con tierra) C_1: factor de cálculo 1,0 para tensiones superiores a 1 kV 1,5 para tensiones inferiores a 1 kV x: factor de distancia </p>																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tensión (kV)</th> <th>Tipo de aparamenta eléctrica</th> <th>Distancia entre conductores (mm)</th> <th>x, Factor de distancia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0,208 – 1</td> <td>Aire libre</td> <td>10 – 40</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>Elementos de Interrupción</td> <td>32</td> <td>1,473</td> </tr> <tr> <td>Cuadros generales y de control de motores (MCC)</td> <td>25</td> <td>1,641</td> </tr> <tr> <td>Cable</td> <td>13</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">> 1 – 5</td> <td>Aire libre</td> <td>102</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>Elementos de Interrupción</td> <td>13 – 102</td> <td>0,973</td> </tr> <tr> <td>Cable</td> <td>13</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">> 5 – 15</td> <td>Aire libre</td> <td>13 – 153</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>Elementos de Interrupción</td> <td>153</td> <td>0,973</td> </tr> <tr> <td>Cable</td> <td>13</td> <td>2,000</td> </tr> </tbody> </table>				Tensión (kV)	Tipo de aparamenta eléctrica	Distancia entre conductores (mm)	x, Factor de distancia	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
Tensión (kV)	Tipo de aparamenta eléctrica	Distancia entre conductores (mm)	x, Factor de distancia																																					
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																																					

Figura 10. Método IEEE 1584

MÉTODO GENÉRICO

En la Norma Técnica de Prevención 904 desarrollada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo aparece este método genérico desarrollado por Ralph H. Lee. Es el menos preciso de todos, el que menos datos de la instalación necesita y aplicable a cualquier supuesto por lo que la precisión que de él se obtenga es baja. El cálculo se realizará en base a la siguiente tabla:

Método genérico	$E = 5,12 \cdot 10^{-4} \cdot V \cdot I_{sc} \cdot \left(\frac{t}{D^2} \right)$
E, energía calorífica incidente (cal/cm ²) V, tensión nominal (kV) I _{sc} , corriente de falla (kA) D, distancia de trabajo (mm) t, tiempo de duración del arco (s)	

Figura 11. Método genérico

4.5.2. Cálculos de energía calorífica

En la Nota Técnica de Prevención 957 aparece un caso práctico para la estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador aplicando los 3 métodos descritos en la NTP 904. Se anexará al documento como Anexo I. En este apartado se desarrollará un caso práctico particular para el cálculo de la energía calorífica incidente sobre los trabajadores en BT. Se considerará un esquema de red determinado y se calculará la energía calorífica incidente en varios puntos de la instalación.

Caso práctico de estudio

Se va a realizar el cálculo de la zona de peligro frente al arco eléctrico, a través del “límite de seguridad frente al arco” (FPB) y el cálculo de la energía incidente E_i (cal/cm²) para el supuesto de un cortocircuito trifásico en un punto de la red de distribución de baja tensión de una empresa de distribución eléctrica, siendo el esquema el siguiente:

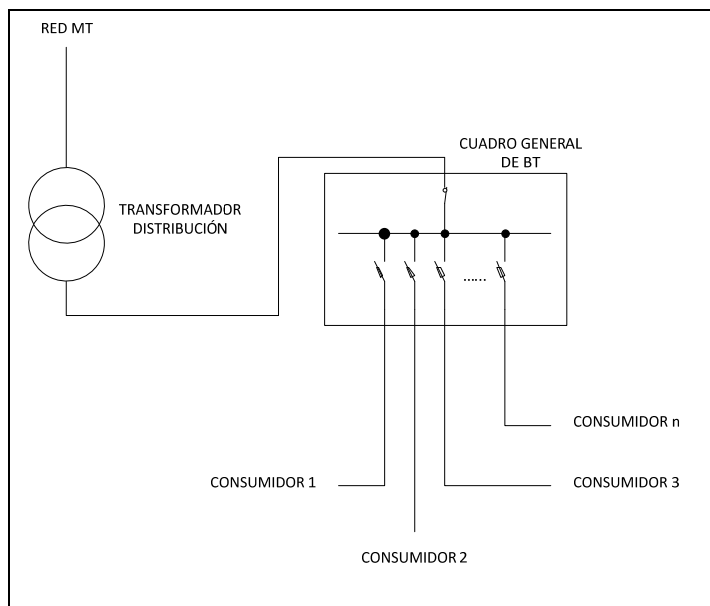


Figura 12. Esquema de red considerada para el estudio

Para el cálculo de las intensidades de cortocircuito se han considerado las siguientes hipótesis:

- Potencia infinita en la red de media tensión.
- Método de cálculo de las impedancias relativas.

- Se han calculado las potencias e intensidades de cortocircuito suponiendo un corto trifásico. Generalmente el corto trifásico será más dañino que el monofásico a tierra.

El montaje normalizado en la red que se ha considerado para el estudio es el siguiente:

- Transformadores de potencia de 630 kVA o 1000 kVA.
- Tensiones de cortocircuito de 4% para transformadores de hasta 630 kVA y 6% para los de 1000 kVA.
- Conexión entre trafo y cuadro general de BT: 3 conductores de 150 mm² de cobre por fase.

- Líneas de salida en BT: 1 conductor de 150 mm² de aluminio por fase.

- Para los cálculos de la energía incidente se considerarán distintos tiempos de desconexión en función de dónde se dé el cortocircuito, si en Media Tensión o en Baja.

Una empresa eléctrica aporta, para la realización de un estudio, las potencias e intensidades de corto trifásico en distintas situaciones, considerándose los supuestos anteriores en Centros de transformación con trafo de distintas tensiones (630 kVA y 1000 kVA). En la siguiente imagen se ven los datos aportados:

RESULTADOS DE CÁLCULO		
Potencias e Intensidades de corto trifásico		
	<u>Potencia de corto (kVA)</u>	<u>Intensidad de corto en Baja Tensión (kA)</u>
<u>CT con trafo de 1000 kVA</u>		
En bornas BT de trafo	16,7	24,1
A la entrada del CGBT	16,0	23,0
A la salida del CGBT	16,0	23,0
A 10 metros aguas abajo del CGBT	13,7	19,8
A 50 metros aguas abajo del CGBT	8,1	11,7
A 100 metros aguas abajo del CGBT	5,3	7,7
<u>CT con trafo de 630 kVA</u>		
En bornas BT de trafo	15,8	22,8
A la entrada del CGBT	15,1	21,8
A la salida del CGBT	15,1	21,8
A 10 metros aguas abajo del CGBT	13,1	18,9
A 50 metros aguas abajo del CGBT	7,9	11,3
A 100 metros aguas abajo del CGBT	5,2	7,6

Figura 13. Datos de Potencias e Intensidades máximas de Cortocircuito Trifásico en distintos puntos de la red

Para todas estas situaciones descritas, se calculará en primer lugar la zona de peligro frente al arco eléctrico (FPB) y la energía calorífica incidente sobre un trabajador, debido a un arco eléctrico ocasionado por un cortocircuito trifásico (por ser más dañino que el monofásico), mediante el método NFPA-70E y el método IEEE 1584-2002. Para obtener los resultados de la energía calorífica, se realizaron los cálculos mediante unas hojas Excel que se anexarán al final del documento. Cada método tiene unas variables necesarias para el cálculo de la energía y de las que se obtendrán sus valores de la consulta a trabajadores especializados en instalaciones eléctricas.

Para el cálculo de las zonas de peligro frente a arco eléctrico se aplicará la siguiente expresión:

$$FPB \approx \sqrt{5,1 \cdot (P_{\text{transformador}}) \cdot t_{\text{arco}}}$$

Figura 14. Expresión para el cálculo del FPB (fuente: NTP 957)

Para realizar este cálculo, se considerará la potencia de cada transformador en las 2 situaciones generales planteadas en la Figura 15 (cálculos de FPB) (trafos de 1000 kVA y 630 kVA). Dentro de la fórmula la potencia debe ir en MVA. Se calculará el FPB para tiempo de duración del arco de 0,5s en base a experiencias reales y así considerar una situación desfavorable.

Cálculos de FPB	Potencia trafo (MVA)	t arco (s)	FPB (m)
CT con trafo de 1000 kVA	1	0,5	1,60
CT con trafo de 630 kVA	0,63	0,5	1,27

Figura 15. Cálculos de FPB

Cálculos de energía calorífica para intensidades de cortocircuito máximas

En el siguiente esquema, se indican los fusibles y los distintos puntos de la red donde se van a realizar los cálculos de la energía calorífica, en el caso de que ocurra un cortocircuito. Este cortocircuito se considera a intensidad de cortocircuito máxima. Red MT=22kV.

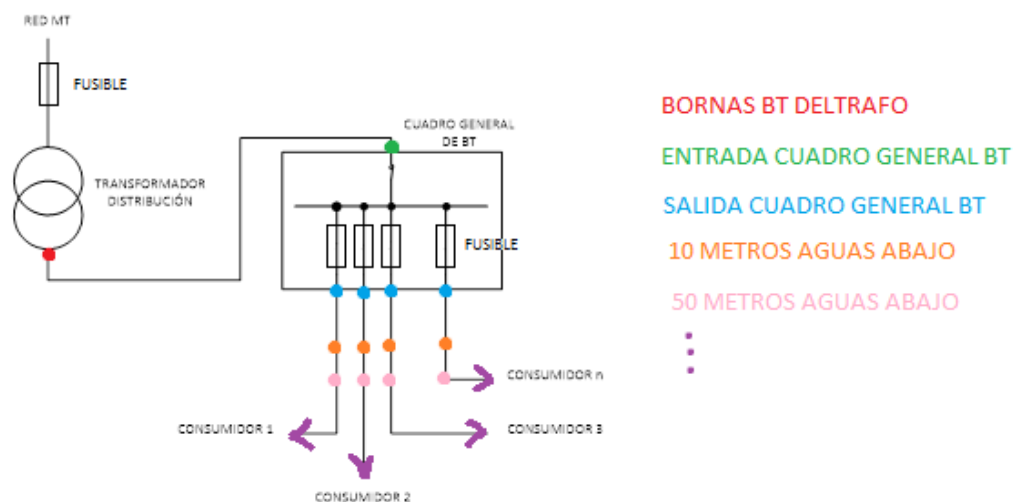


Figura 16. Esquema de la red con las protecciones y los puntos de estudio

Si el cortocircuito ocurre a la salida del cuadro general de Baja Tensión o aguas abajo, el fusible que actúa es el de Baja Tensión, por lo que la Intensidad de Cortocircuito que interesa para calcular el tiempo de desconexión de los fusibles de Baja Tensión es la mostrada en la Figura 13. Los fusibles de Baja Tensión utilizados en una empresa eléctrica son los de calibre 400A y se emplean los de servicio Gg que son los que se utilizan generalmente.

Si ocurre un cortocircuito en las bornas del trafo o en la entrada del cuadro general de BT, la protección que debe actuar es el fusible de la Red de Media Tensión, por lo que, en estos supuestos, los datos de Intensidades máximas de cortocircuito que se muestran en la Figura 13 se han de transformar a intensidades en relación a la red de Media Tensión para saber el tiempo de desconexión de ese fusible. Los fusibles de Media Tensión utilizados en una empresa eléctrica son de

Desarrollo, Resultados y Discusión general

los siguientes calibres: 16A - 25A - 40A - 63A. La potencia eléctrica es la misma en Baja Tensión que en Media Tensión, y como conocemos que:

- La potencia es el producto de la Tensión e Intensidad.

$$P=V.I$$

- La potencia de BT será igual que la potencia de MT.

$$P_{BT}=P_{MT}$$

$$V_{BT} \times I_{BT}= V_{MT} \times I_{MT}$$

Como nos interesa la I_{MT} (Intensidad de cortocircuito en Media Tensión) y sabiendo que la tensión en Baja es de 400V y en Media consideramos 22kV:

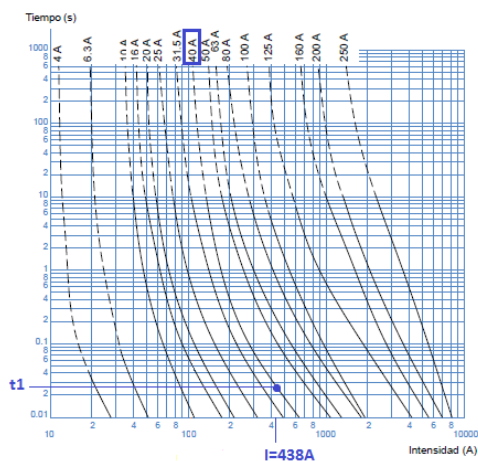
$$I_{MT}=I_{BT} \times 0,4kV/22kV$$

Estos datos se reflejarán en la hoja de cálculo que se anexará a este documento.

En las siguientes gráficas de los fusibles de Media Tensión se indica el calibre de los fusibles en función de la intensidad de Media Tensión en los distintos trafos (1000kVA=>26A=>calibre 40A; 630kVA=>16,5A=>calibre 25A)

Fusibles CF Gráfica1

Curvas características tiempo-intensidad
3,6-7,2-12-17,5-24-36 kV



Fusibles Solefuse Gráfica 2

Curvas características tiempo-intensidad
7,2 - 12 - 17,5 - 24 - 36 kV

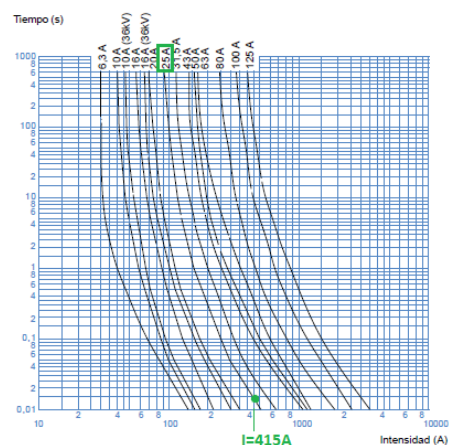


Figura 17. Gráficas de los fusibles de Media Tensión

Así $t_1=0,028s$ y $t_2=0,015s$

TIPO DE INSTALACIÓN	Potencia de corto (kVA)	Intensidad de corto trifásico en Media Tensión Ibf (kA)	tiempo de desconexión t (segundos)
Datos Empresa Distribuidora Eléctrica			
CT con trafo de 1000 kVA			
En bornas BT de trafo	16,7	0,438	0,028
A la entrada del CGBT	16,0	0,418	0,028
CT con trafo de 630 kVA			
En bornas BT de trafo	15,8	0,415	0,015
A la entrada del CGBT	15,1	0,396	0,015

Figura 18. Datos de Icc máxima posible en MT y tiempo de desconexión de los fusibles

Para los cálculos de energía calorífica se han de definir ciertos parámetros en función del método utilizado y de la situación que se presenta en cada caso. La distancia de trabajo se considerará en todos los casos 457 mm por ser la distancia a la que se trabaja y la que recomienda la norma IEEE 1584.

Los demás parámetros están definidos gracias a la consulta a personal eléctrico experto, en función de lo dispuesto en las normas y estarán indicados en las hojas de cálculo que se pueden encontrar en el Anexo II.

Los tiempos de desconexión de los fusibles de BT se obtienen de la siguiente gráfica, del catálogo General Temper 2014-2015, considerando que el calibre de estos es de 400A.

500/690V (35-400)A Tamaño: 2

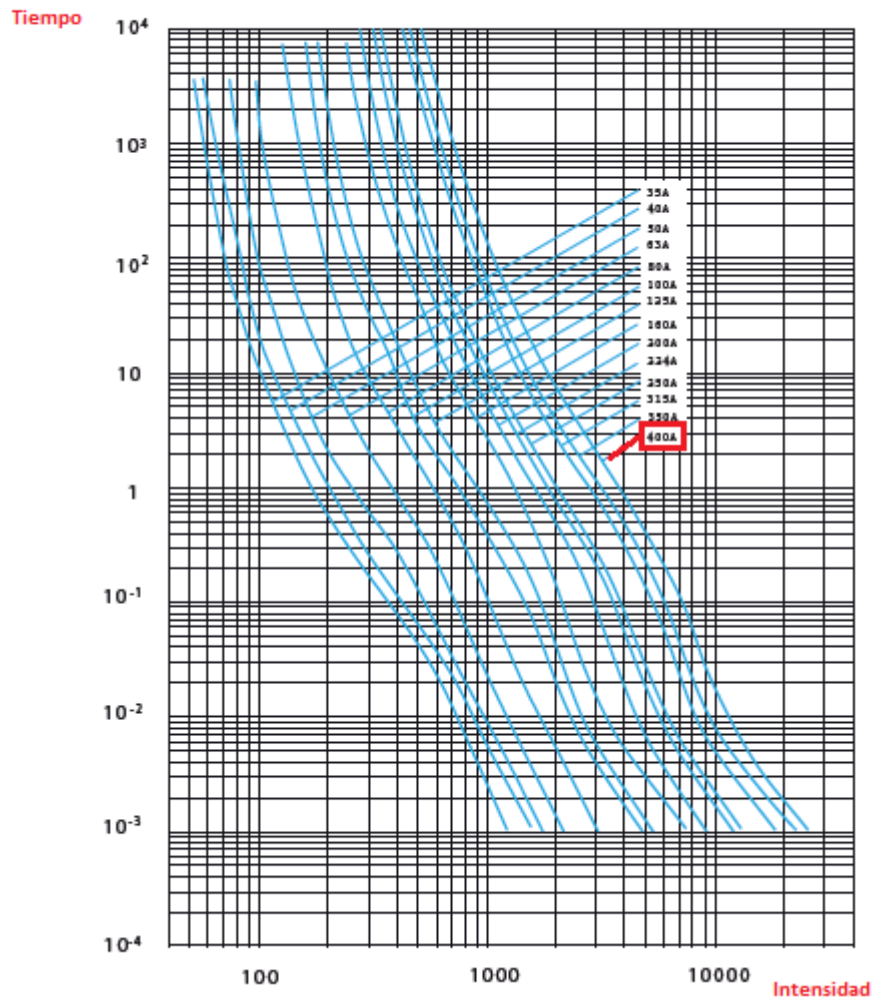


Figura 19. Gráfica fusibles de BT de calibre 400A

Con las intensidades máximas de cortocircuito en BT y sabiendo que los fusibles utilizados son calibre 400A, se entra a la gráfica y, donde corte con la curva indicada, se obtendrá el tiempo de desconexión. Los tiempos de cada supuesto estarán indicados en el Anexo II.

Después de realizar los cálculos del Anexo II con las intensidades máximas de cortocircuito, se obtienen energías caloríficas muy pequeñas. Esto se explica debido a que, para intensidades altas, el tiempo de desconexión de los fusibles es muy rápido, provocando que la energía disipada sea mínima.

Cálculos de energía calorífica para distintos tiempos de desconexión

Con los resultados tan bajos del Anexo II, se plantea la situación de que no todos los cortocircuitos tienen intensidad máxima, que puede haber cortocircuitos con intensidades más pequeñas y con tiempo de desconexión mucho mayor debido a las curvas de los fusibles (para un fusible de calibre 400A, a intensidades de cortocircuito altas, menor es el tiempo de actuación/desconexión). Para justificar la protección personal que deben portar los trabajadores al maniobrar o intervenir en centros de transformación, para un mismo supuesto, consideramos distintos valores de tiempos de desconexión e intensidades obtenidos de las gráficas de los fusibles, tanto de BT como de MT. Se consideran tiempos de desconexión de 10 s, 1 s, 0'5 s y 0'1 s para los casos de CT de 1000KVA y CT de 630KVA tanto a la entrada como a la salida del Cuadro de BT por ser los lugares habituales donde trabaja el personal. Los tiempos de desconexión de 10s son excesivos, sirven de ejemplo para ver la terrible influencia del tiempo con respecto a la pequeña variación de intensidad entre unos casos y otros. Estos cálculos se realizan por el método NFPA 70E y por el IEEE 1584. Los resultados se muestran en el Anexo III y se destacan los valores de energía calorífica incidente a continuación:

Desarrollo, Resultados y Discusión general

IEEE 1584	<u>Intensidad de corto trifásico en Baja Ibf (kA)</u>	<u>Intensidad de corto trifásico en Media Ibf (kA)</u>	<u>tiempo de desconexión t_d (segundos)</u>	<u>Energía Incidente IEEE 1584 E (cal/cm²)</u>
CT CON TRAFIO DE 1000 KVA				
A la entrada del CGBT	7,975	0,145	10	151,5617284
	9,625	0,175	1	60,89873078
	10,45	0,19	0,5	32,29513324
	12,65	0,23	0,1	7,405344457
A la salida del CGBT	1,9		10	43,19443814
	3,95		1	32,1960835
	4,8		0,5	18,50743614
	7,1		0,1	4,898287143
CT CON TRAFIO DE 630 KVA				
A la entrada del CGBT	4,345	0,079	10	89,08246382
	5,5	0,1	1	40,80232088
	6,49	0,118	0,5	22,96652123
	9,24	0,168	0,1	5,914542349
A la salida del CGBT	1,9		10	43,19443814
	3,95		1	32,1960835
	4,8		0,5	18,50743614
	7,1		0,1	4,898287143

Figura 20. Tabla con resultados de energía calorífica para distintas intensidades y tiempos de desconexión mediante el método IEEE 1584

Desarrollo, Resultados y Discusión general

NFPA 70E	<u>Intensidad de corto trifásico en Baja Tensión Ibf (kA)</u>	<u>Intensidad de corto trifásico en Media Tensión Ibf (kA)</u>	<u>tiempo de desconexión t (segundos)</u>	<u>Energía calorífica incidente NFPA 70E E (cal/cm²)</u>
CT CON TRAFO DE 1000 KVA				
A la entrada del CGBT	7,975	0,145	10	558,636291
	9,625	0,175	1	51,46419129
	10,45	0,19	0,5	24,77162621
	12,65	0,23	0,1	4,532936517
A la salida del CGBT	1,9		10	784,6889209
	3,95		1	69,71422401
	4,8		0,5	33,21039478
	7,1		0,1	5,849831335
CT CON TRAFO DE 630 KVA				
A la entrada del CGBT	4,345	0,079	10	681,5920755
	5,5	0,1	1	63,85668599
	6,49	0,118	0,5	30,22937081
	9,24	0,168	0,1	5,242423258
A la salida del CGBT	1,9		10	784,6889209
	3,95		1	69,71422401
	4,8		0,5	33,21039478
	7,1		0,1	5,849831335

Figura 21. Tabla con resultados de energía calorífica para distintas intensidades y tiempos de desconexión mediante el método IEEE 1584

Los resultados obtenidos por ambos métodos de cálculo son muy distintos. En este estudio se tratará de proteger frente a los resultados obtenidos a partir de 0,5s y 0,1s por ser los tiempos más precisos de desconexión.

4.5.3. Requisitos para operar en función de la potencia calorífica

En las instalaciones se colocará un panel informativo acerca del vestuario mínimo de protección y los EPI's que se deberán utilizar en trabajos en esos emplazamientos. En caso de que el trabajador no cumpla con ese vestuario, no

deberá realizar maniobras o intervenir en las instalaciones. Estas recomendaciones de vestuario de protección y EPI's se basan en los resultados de los cálculos de las potencias caloríficas en esas instalaciones. Un ejemplo de cartel informativo que se podría poner es el siguiente:

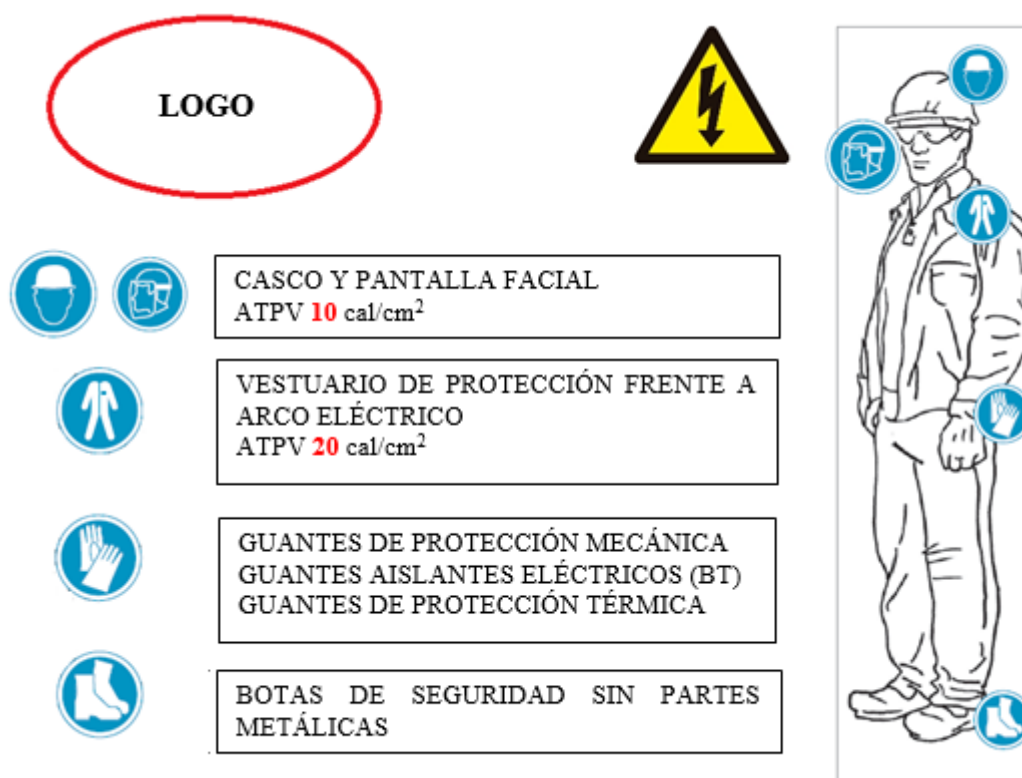


Figura 22. Panel informativo de protección personal para CT's

Los datos reflejados en el panel informativo de ejemplo no son fijos, variarán en función de la instalación.

4.5.4. Definir EPI's para trabajos eléctricos con riesgo de arco eléctrico

La utilización de un equipo de protección individual (EPI) reduce los peligros térmicos de los arcos eléctricos y contribuye a la protección del personal. Hay que tener en cuenta que ningún EPI protege al cien por cien contra los arcos eléctricos. No obstante, los efectos del arco eléctrico pueden reducirse

significativamente y muchas veces ser eliminados. Un EPI contra arco eléctrico debe de tener como mínimo una protección frente a un arco eléctrico que desprenda una energía de 4 cal/cm² o cumplir clase 1.

Protección de la cabeza

Para la protección de la cabeza eléctricamente en Baja Tensión, se recomienda el uso de un casco de seguridad y una pantalla protectora facial que es equivalente al casco IDRA.

El casco IDRA es un casco de protección para la industria, fabricado en ABS (plástico: acrilonitrilo butadieno estireno), con pantalla facial en policarbonato integrada, concebido para la seguridad y confort durante el trabajo en instalaciones eléctricas de B.T.

El casco protege al usuario contra caída de objetos y contra el contacto accidental de breve duración con conductores eléctricos bajo tensiones de hasta 440 V en corriente alterna. Es eléctricamente aislante e impide el paso de una corriente peligrosa por la cabeza al cuerpo durante el trabajo en instalaciones de hasta 1000 V en corriente alterna y 1500 V en corriente continua o en la proximidad de dichas instalaciones.

La pantalla montada en el casco protege al usuario contra al arco eléctrico de los cortocircuitos en baja tensión. Ha recibido un tratamiento antiempañamiento interior y antirraya exterior, y su clase óptica es 1, por lo que se puede utilizar de manera permanente.



Figura 23. Casco IDRA

Protección de las manos y brazos

Para la protección de las manos y antebrazo se recomienda el uso de unos guantes de protección contra riesgos térmicos debajo de los guantes aislantes eléctricos. En caso de que se estén realizando trabajos mecánicos, se pondrán unos guantes de protección mecánica encima de ambos.

Los guantes de protección contra riesgos térmicos son guantes que protegen las manos contra el calor y/o las llamas, en una o más de las siguientes formas: fuego, calor de contacto, calor convectivo, calor radiante, pequeñas salpicaduras o grandes cantidades de metal fundido. El guante propuesto es un guante NOMEX III específicamente diseñado para evitar la propagación de la llama, usándose como guante interno y debiendo ser siempre complemento de otro guante externo de protección específica, como guantes aislantes de electricidad.



Figura 24. Guantes de protección contra riesgos térmicos

Los guantes aislantes eléctricos pueden ser de dos tipos:

- Guantes aislantes que normalmente se utilizan conjuntamente con guantes protectores de cuero llevados por encima de los guantes aislantes para proporcionar protección mecánica.
- Guantes utilizados sin guantes de protección mecánica superpuestos.

Los guantes aislantes eléctricos para Baja Tensión han de ser de Clase 0 ya que son los que soportan una tensión máxima de 1000V en corriente alterna y 1500V en corriente continua. Son guantes dieléctricos fabricados en látex natural. En la siguiente imagen se muestran unos guantes que se pueden utilizar conjuntamente con guantes de protección mecánica.



Figura 25. Guantes aislantes eléctricos

Los guantes de protección mecánica son guantes que proporcionan protección contra, al menos, uno de los siguientes riesgos mecánicos: abrasión, corte por cuchilla y perforación. Su uso en trabajos eléctricos de Baja Tensión va en función de si se está expuesto a riesgos mecánicos, por lo que no es obligatorio utilizarlos en todos los casos. Los guantes de protección mecánica ofrecen distintos niveles de prestación. Se recomienda que, como mínimo, los guantes de protección mecánica utilizados en trabajos de BT deben tener un nivel de prestación 1 o superior para, al menos, una de las propiedades (abrasión, corte por cuchilla, rasgado y perforación). Los guantes que se recomiendan, como protección mínima, son guantes de cuero flor vacuno, Grado A, con ribete de cuero y pulgar en ala, son guantes muy flexibles y con elástico interior de ajuste en la muñeca. Como niveles de prestación ofrecen: Resistencia a la abrasión: 2. Resistencia a los cortes: 1. Resistencia a desgarros: 2. Resistencia a perforaciones: 2. A continuación, se muestra una imagen:



Figura 26. Guantes de protección mecánica

Protección de los pies

Como calzado, se recomienda el uso de zapatos/botas de seguridad sin partes metálicas. Se recomienda la siguiente opción:

- Calzado de seguridad, antiestático (A), con absorción de energía en el tacón (E), resistente a la penetración y absorción de agua (WRU) y que ofrece aislamiento contra el calor del suelo (HI), interior resistente a bajas temperaturas (CI), Aislamiento al calor (HI), resistencia al calor por contacto (HRO), resistencia al agua (WR), calzado antideslizante (SRC).



Figura 27. Calzado de seguridad

4.6. Materiales disponibles en el mercado

En la realización de trabajos eléctricos es muy importante el material de todos aquellos elementos que se utilizan cerca de las instalaciones que puedan generar cortocircuitos o arcos eléctricos con riesgo de contactos y quemaduras.

Se considera imprescindible hacer un estudio de mercado para conocer todos aquellos materiales que resisten frente a la electricidad, bien sea para ropa de trabajo, para ropa de protección o para las herramientas utilizadas.

En este documento se hará referencia también a los diferentes ensayos a los que se somete la ropa y herramientas para comprobar su resistencia. Toda esta información se obtiene de entidades acreditadas y especializadas en este tipo de pruebas.

4.6.1. Ropa de trabajo

La ropa de trabajo es aquella vestimenta utilizada sin más objetivo que preservar la piel de rozaduras leves, rangos normales de temperaturas a lo sumo molestas, suciedad, etc. Pueden tener mayor o menor resistencia a estas circunstancias, pero no se considerarán prendas de protección especial.

En particular, se suele observar que está generalizado el uso de ropa de algodón básica. Este tipo de prendas no son consideradas prendas de protección. En ningún caso, deberán portar corchetes ni otros elementos metálicos.

4.6.2. Ropa de protección

La ropa de protección es aquella vestimenta cuyo objetivo va más allá de la protección trivial que pudiera ofrecer la ropa habitual de cualquier ciudadano. En este sentido, y en el ámbito puramente eléctrico, se pueden establecer varios niveles de protección:

PRENDAS AISLANTES: Es ropa de protección, para trabajos en instalaciones de baja tensión regulada por la norma UNE-EN 50286, que previene el paso de la corriente eléctrica peligrosa a través del trabajador si llega a estar en

contacto con un conductor en tensión. Este tipo de ropa ha sido desarrollada principalmente para su uso por trabajadores en líneas de baja tensión cuando existe un riesgo de contacto involuntario y limitado debido a la proximidad a la que se trabaja de instalaciones desnudas en las que no se ve la falta de aislamiento por ser de tamaño reducido. No debe considerarse en ningún caso que esta ropa constituye un único elemento de seguridad, debiendo establecerse las condiciones mínimas de seguridad utilizando otras medidas preventivas de carácter colectivo.

ROPA DE PROTECCIÓN ANTIESTÁTICA: Es ropa cuyos requisitos electrostáticos y de diseño evitan la formación de chispas que puedan provocar un incendio. Este tipo de ropa es propia de zonas con atmósferas explosivas (ATEX).

ROPA DE PROTECCIÓN CONTRA LOS PELIGROS TÉRMICOS DE UN ARCO ELÉCTRICO: Ropa que evita las quemaduras por calor ante un arco eléctrico. Este tipo de ropa está regulada por los requisitos de la norma UNE-EN 61482.

Previamente a la anterior norma, esta ropa de protección se regía por la norma UNE-EN ISO 11612, publicada en 2008, referida a la ropa de protección contra el calor y la llama. Esta ropa era fácilmente identificable gracias al pictograma de la imagen siguiente:



Figura 28. Pictograma de la ropa de protección contra el calor y la llama (UNE-EN ISO 11612:2008)

En el año 2015 se publica la modificación de la norma UNE-EN ISO 11612. Se mantiene la imagen del pictograma que debe llevar la ropa que proteja contra el calor y la llama, añadiéndose en el pictograma unas letras que indicarían

frente a qué sucesos térmicos ha sido probado su nivel de protección y el nivel de cumplimiento conseguido.



A1 or A1 + A2, B(x), C(x), D(x), E(x), F(x)

(x) = level of performance obtained.

Figura 29. Pictograma de la ropa de protección contra el calor y la llama (UNE-EN ISO 11612:2015)

Heat transmission performance	Letter code
Limited flame spread	A1 or (A1 and A2)
Convective heat	B1 to B3
Radiant heat	C1 to C4
Molten aluminium splash	D1 to D3
Molten iron splash	E1 to E3
Contact heat	F1 to F3

Limited flame spread: propagación de las llamas limitada; Convective heat: calor convectivo; Radiant heat: calor radiante; Molten aluminium splash: salpicadura de aluminio fundido; Molten iron splash: salpicadura de hierro fundido; Contact heat: calor por contacto.

Figura 30. Cuadro explicativo del código del pictograma de la ropa de protección frente al calor y la llama

En el año 2015 se publicó una modificación de la norma UNE-EN 61482-1-2. En esta norma se añadió el nuevo pictograma indicativo del vestuario de protección frente a los peligros térmicos del arco eléctrico que, a partir de ahora, debe identificarse en la ropa adquirida y es el siguiente:



Figura 31. Pictograma de la ropa de protección frente a arco eléctrico

Hoy en día, la ropa que se adquiera para la protección de arco eléctrico deberá llevar los pictogramas de las normas UNE-EN ISO 11612:2015 y UNE-EN 61482-1-2:2015. La ausencia de la combinación de estos pictogramas en las prendas que porte el trabajador no permitirá aminorar los efectos térmicos sobre el cuerpo humano en caso de arco eléctrico. Por tanto, la protección ante este tipo de trabajos debe comenzar por:

- El uso del casco y la protección facial adecuada al arco eléctrico, con el casco IDRA o equivalente.
- El tronco y extremidades completamente cubiertas con ropa de protección frente al riesgo térmico del arco eléctrico.
- El uso de guantes de protección contra riesgos mecánicos, riesgos eléctricos y frente a los riesgos térmicos derivados de un arco eléctrico.
- El uso de calzado de seguridad y de otras medidas de protección como banquetas o alfombras aislantes, etc.

Toda esta protección se utilizará sin menoscabo de aislar, siempre que sea posible, los elementos a diferente potencial del punto de trabajo en tensión.

A la hora de realizar trabajos o maniobras en BT se deberán utilizar prendas aislantes combinadas con elementos de seguridad y sólo se considerará válida la ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico.

Desarrollo, Resultados y Discusión general

Para realizar la correcta elección de la ropa de protección de los trabajadores, es necesario conocer los peligros de la actividad que desarrollen para, posteriormente, evaluar sus riesgos y adoptar cuantas medidas preventivas sean precisas con el objeto de eliminar/disminuir los mismos. Una de las medidas preventivas es la utilización de los EPI's adecuados a la actividad que se desarrolle.

Al objeto que sus características se adapten a los riesgos es especialmente significativa la correcta elección de los mismos dentro de lo que la Industria actual nos ofrezca y, para ello, se hace necesario estar involucrados todos los responsables y departamentos de la Empresa, y muy especialmente los trabajadores pues, como usuarios finales, si los elementos que se dispongan no son de "su agrado y confort" va a suscitar en cada uno de ellos "un rechazo a su utilización" lo que provocará una "potencial desprotección" y un factor de riesgo más a tener en cuenta (frecuentemente se destapa en el análisis de muchos accidentes/incidentes).

El trabajador, antes de utilizar la ropa, debe asegurarse del correcto estado de la misma, no permitiéndose el uso de prendas rasgadas o con signos de deterioro que puedan mermar en la eficacia de protección.

Una prenda de forma individual ofrece un nivel de protección determinado, pero cuando se usa en combinación con el resto de prendas, el nivel de protección es mayor a la suma de las protecciones individuales y esta información se encuentra en el anexo M de la Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo NFPA 70E, no siendo una exigencia del documento, sino que se incluye con el propósito de informar. El anexo M se titula "Sistemas de ropa de protección en capas y la protección total contra el arco".

En cuanto a la ropa de protección en capas, la norma informa que poner en capas la ropa Resistente a la Llama (RLL) es un enfoque eficiente para alcanzar los niveles requeridos de protección al arco. Esta protección se puede alcanzar con una menor cantidad de capas y el sistema de vestimenta de menor peso. Esta norma pone como ejemplo dos sistemas de ropa protectora frente a un arco de 40 cal/cm²:

OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Utilizar un traje para protección al relámpago de arco de 40 cal/cm ² encima de una camisa y pantalón de algodón.	Utilizar un traje para protección al relámpago de arco de 25 cal/cm ² encima de una camisa y pantalón RLL con nivel de protección al arco de 8 cal/cm ² . Este sistema ofrece una protección al arco de 40 cal/cm ² .

Figura 32. Cuadro de opciones de ropa de protección en capas según la norma NFPA 70E

Las dos opciones son válidas, pero teniendo en cuenta el menor peso, la menor cantidad de capas de tela y buscando el confort del trabajador, la opción que más se ajusta a estos requerimientos es la opción 2.

Por otro lado, en el caso de usar capas de ropa RLL encima de ropa de capas interiores de fibras naturales, si la exposición al relámpago de arco es suficiente como para romper la capa o capas exteriores, la capa de fibra natural interior puede encenderse y causar heridas por quemaduras más graves en un área más extensa del cuerpo. Esto se debe a las capas interiores de fibras naturales quemándose hacia áreas del cuerpo del trabajador que no fueron expuestas al evento del relámpago del arco. Esto puede ocurrir cuando las capas de fibras naturales continúan quemándose por debajo de las capas de ropa RLL debido al “efecto chimenea”, inclusive en áreas donde la capa o capas de ropa RLL no se hayan roto.

La norma NFPA 70E, en su anexo M, también aporta información acerca del nivel de protección total al arco del sistema definiéndolo como aquel nivel obtenido cuando todas las capas de ropa que utiliza un trabajador son probadas como una muestra de prueba multicapas. En este apartado se indica que el nivel de protección al arco de un sistema en el que se combinan prendas RLL no se determina sumando el nivel de protección al arco de las capas individualmente,

sino que la protección puede ser más alta o más baja que esa suma en función de cómo se combinen, es decir, depende de cuál sea la capa externa y el tipo de tela específico RLL de esa prenda. Para probar la resistencia de un sistema multicapas, se deberá realizar una prueba de arco de la combinación de todas las capas ensambladas como serían utilizadas.

Con esta información, se puede asegurar que en instalaciones donde el riesgo frente a arco eléctrico es mayor, es imprescindible el uso de varias capas para aumentar el nivel de protección y se recomienda la combinación de 2 a 3 prendas de protección en función del riesgo. Previamente, se habrá sometido a una prueba de arco la combinación de capas tal y como son utilizadas por el trabajador para poder asegurar la mayor protección.

Para la utilización y mantenimiento de la ropa de protección se deberán seguir siempre las instrucciones del fabricante indicadas en el folleto informativo.

4.6.2.1. Tejidos de la ropa de protección frente a arco eléctrico

En este apartado se tratará de realizar una recopilación de los tejidos que se suelen utilizar en las prendas de protección frente a arco eléctrico.

Previamente a describir los distintos tejidos que ofrece el mercado, se enumerarán las características del vestuario de protección de una actividad eléctrica y las clases de prendas que se utilizan:

Características de vestuario de protección de una actividad eléctrica:

- TODOS LOS TEJIDOS, naturales o sintéticos, arden mediante la exposición prolongada al fuego.
- Una característica que distingue a los tejidos de protección, es cómo reaccionan después de la exposición de fuego.
- La eficiencia de la protección de un tejido se mide por:
 - Capacidad que cada tejido tiene para proteger al individuo de la energía incidente proveniente del fuego.

Desarrollo, Resultados y Discusión general

- Y por el tiempo necesario para la auto-extinción de la llama en las áreas de tejido que empiezan a arder.
- Composición de tejido según la prenda (CAMISA; POLO; CAZADORA Y PANTALÓN)
 - CAMISA (37% algodón, 60% modacrílico, 3% fibra antiestática)

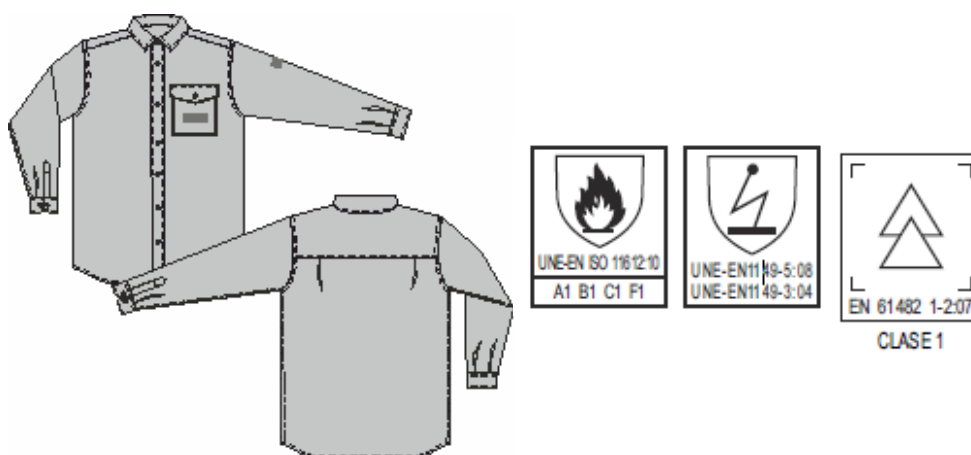


Figura 33. Características de camisa de protección de una empresa eléctrica

- POLO (35% algodón, 45% modacrílico, 18% poliamida, 2% fibra antiestática)



Figura 34. Características de polo de protección de una empresa eléctrica

- CAZADORA Y PANTALÓN (35% algodón, 60% modacrílico, 4,5% poliamida, 0,5% fibra antiestática)

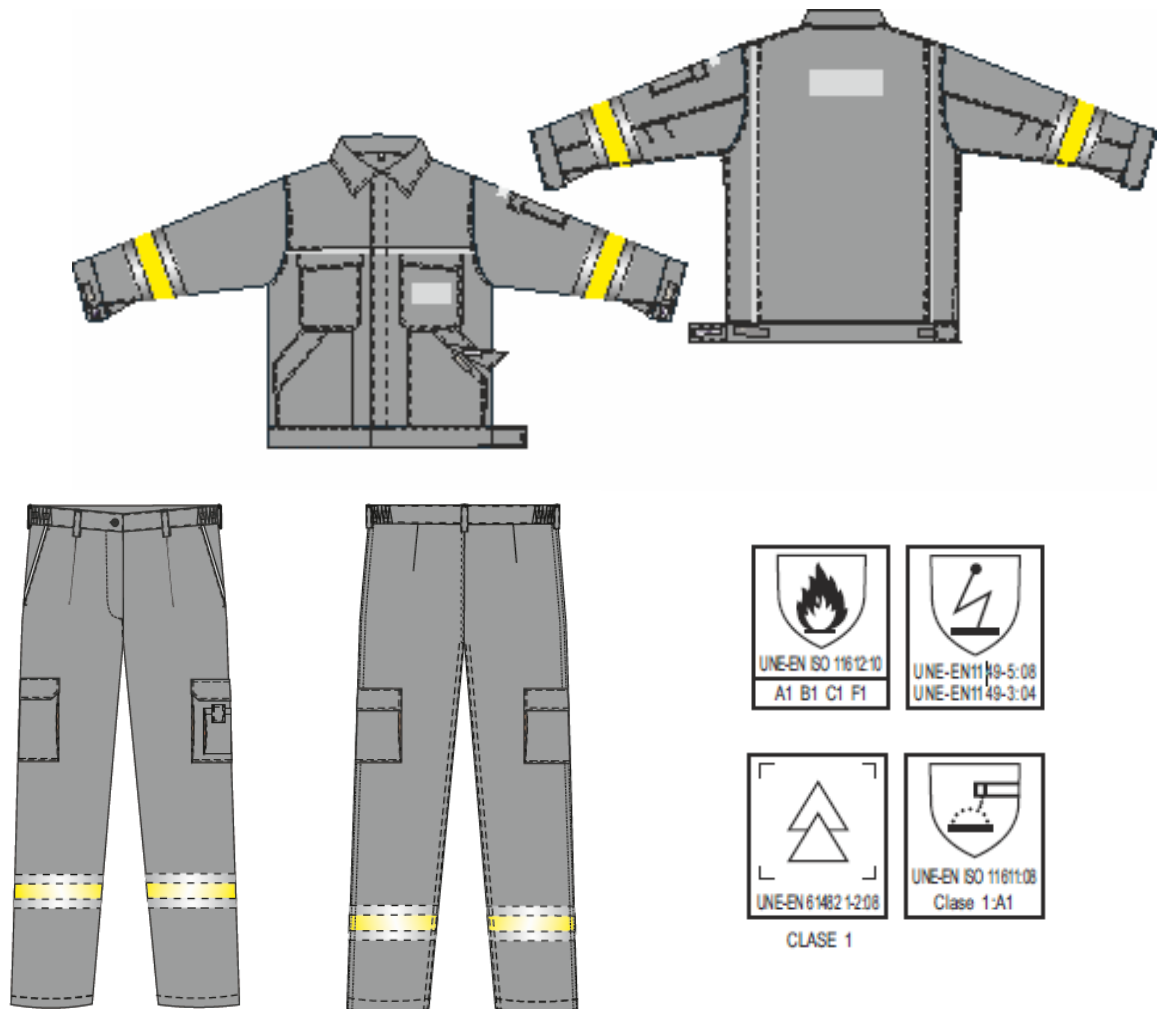


Figura 35. Características de pantalón y cazadora de protección de una empresa eléctrica

Desarrollo, Resultados y Discusión general

- El vestuario de protección tiene como característica que es ignífugo permanente y antiestático.
- Las fibras modacrílicas que componen el tejido del que están hechas las prendas, le confieren la resistencia al fuego y son ignífugas durante toda su vida útil.
- La fibra de algodón confiere confort a la prenda.
- La poliamida aporta un extra de resistencia que aumenta la durabilidad de la prenda lavado tras lavado.
- Estos tejidos no tienen presencia de viscosa que pueda mermar sus propiedades mecánicas.

Todas las prendas de protección frente a riesgos eléctricos de una actividad eléctrica deben ser EPI CAT III certificadas por el laboratorio acreditado correspondiente para asegurar una protección eficaz.

Todas las prendas han de disponer de una ETIQUETA y FOLLETO CE donde se reflejan todas las normativas por la que están certificadas, así como su uso y mantenimiento.

Además, las prendas de protección frente a riesgo eléctrico llevan en la manga izquierda el pictograma que indica que protegen frente a arco eléctrico.

¿Qué mantenimiento y uso se le debe dar a estas prendas?

Se debe atender a las instrucciones del fabricante indicadas en el folleto informativo CE. En el Anexo IV se puede ver el formato de una etiqueta de una prenda en la que se indica cómo ha de lavarse, los ensayos a los que ha sido sometida, la composición de la prenda y los pictogramas.

Tipos de tejidos

Con el avance en la prevención de riesgos laborales, en especial, en el ámbito eléctrico, se estima necesaria la investigación en aquellos tejidos de ropa

de protección frente a arco eléctrico. Así pues, hay empresas pioneras en invertir en esta investigación y propone nuevas soluciones en cuanto a tejidos y diseños para la ropa de protección, a modo de ejemplo exponemos los siguientes tejidos: ELASTIS FR e INDURA ULTRA SOFT. A continuación, se describirán las características de cada uno:

ELASTIS FR

La gama ELASTIS® FR de vestuario de protección está compuesta por cazadora, camisa y pantalón certificados contra riesgos térmicos, eléctricos y antiestáticos, en color azul marino con detalles en color contraste. Todas las prendas ELASTIS® FR son EPI CAT III.

Este tejido surge del:

- ✓ **Aumento de las exigencias de los usuarios.** Los usuarios comienzan a demandar tejidos más eficaces y que ofrezcan mayor protección frente a los peligros térmicos del arco eléctrico. Con el paso del tiempo y la mejora de los productos técnicos, se logra que estas prendas de protección estén al alcance de todos.
- ✓ **Aumento de la calidad de las prendas de dotación a trabajadores.** El vestuario laboral es de uso diario, se utiliza en condiciones adversas en muchos casos y, por tanto, cuenta con unas altas exigencias al contrario de lo que ocurre con el vestuario de moda que su uso suele ser limitado. Las diversas condiciones a las que se expone el vestuario de trabajo hace que la oferta de materiales esté más limitada teniendo en cuenta, además, las exigentes certificaciones para riesgos específicos. Las prendas de protección comienzan a ser de mayor calidad y se consigue disminuir la periodicidad de las entregas.
- ✓ **Comoditización de la protección y del cumplimiento de la normativa.** Con el avance de la investigación de todas las empresas en los tejidos de la ropa de protección y el cumplimiento de la normativa se consigue que haya mayor competencia en el

mercado en cuanto a los mismos tejidos. Por eso surge la idea de innovar y crear la distinción con un nuevo tejido competente.

- ✓ La **influencia creciente del mundo de la moda en el vestuario laboral**. Los trabajadores tienen criterios y preferencias propias en cuanto a las características de las prendas ya que pasan una parte significativa del día en el puesto de trabajo y es habitual que se realicen tareas repetitivas y en posiciones incómodas. Los trabajadores tienen la necesidad de interactuar con facilidad con el empresario y crear opinión para la mejora de esa ropa. En los últimos años, la moda ejerce gran influencia en la sociedad, lo que afecta también al mundo laboral. Los trabajadores dan importancia a que las prendas sean cómodas, ligeras y que el vestuario laboral no suponga un paso atrás en imagen y confort. Es por ello que estar cómodos con el vestuario y, a la vez, sentirse bien con la imagen es fundamental.

La gama ELASTIS FR se caracteriza por:

- **Tejidos elásticos** que garantizan el máximo confort en toda condición de uso. La elasticidad de sus materiales juega una doble función porque además del confort, las personas que las visten ganan libertad de movimientos, lo que afecta directa y positivamente en su seguridad.
- **Diseños llamativos y actuales**, creados para buscar impacto y maximizar la ergonomía con patrones que forman la prenda.
- **Diseño y patrón** tanto masculino como femenino. Medidas basadas en el tallaje EUROFIT con el que se ha confeccionado cada prenda ELASTIS FR.

¿Cuál es la composición de estos tejidos?

Están hechos de modacrílico, algodón, poliamida, fibra antiestática y elastano (fibra sintética conocida por su gran elasticidad). Todas las certificaciones de las prendas Elastis FR han sido obtenidas tras 60 lavados para garantizar la durabilidad de la prenda y sus prestaciones.

En el Anexo V se indican las fichas de cada prenda ELASTIS FR con sus características.

INDURA ULTRA SOFT AT

Indura® es reconocida como la primera tela ignífuga 100% de algodón diseñada para brindar resistencia al fuego que se garantiza durante la vida útil de la prenda, ya sea en procedimientos de lavado industriales o domésticos de alta temperatura. De hecho, el nombre de la marca Indura® deriva de “durabilidad (al lavado) industrial”.

La línea de telas UltraSoft® se diseñó teniendo en mente tanto la comodidad como la seguridad.

El tejido Indura Ultrasoft, producto utilizado para la confección de la ropa, proporciona una excelente protección frente a la exposición al arco eléctrico, llama y salpicaduras de metal fundido. El tejido tiene una mezcla de 88% algodón, que le confiere transpirabilidad, y 12% nylon de gran tenacidad, que aumenta considerablemente la resistencia del tejido a la abrasión. La tela está diseñada para aprovechar la excelente resistencia a la abrasión del nylon en la superficie exterior para prolongar la vida útil de la prenda, mientras que las fibras de algodón se centran en el interior hacia la piel para optimizar la comodidad. UltraSoft® garantiza resistencia al fuego durante la vida útil de la prenda, ya sea con procedimientos de lavado industriales o domésticos de alta temperatura. Las prendas de Indura Ultrasoft tienen una duración 75% superior a las prendas de algodón 100%.

La gama Indura Ultrasoft es una propuesta de protección frente a riesgos térmicos, riesgos electrostáticos y riesgos eléctricos. Esta gama está formada por

CAMISA, CAZADORA, PANTALON Y CHAQUETÓN, de las que se adjuntan sus fichas en el Anexo VI.

En función de la combinación de estas prendas el trabajador está protegido frente a mayor o menor energía calorífica desprendida en el arco eléctrico.

El fabricante aporta la siguiente información:

- En el caso de que se combine cazadora y pantalón, el trabajador está protegido frente a una energía calorífica de 15 cal/cm².
- En el caso de que el trabajador porte una camisa Indura Ultrasoft, estará protegido frente a una energía calorífica de 6,1 cal/cm².
- Si se combina cazadora y camisa estarás protegido frente a una energía calorífica de 38,9 cal/cm².

Estas son las ventajas del tejido Indura Ultrasoft:

- Mejor relación peso-protección arco eléctrico. (60% más de protección que otros tejidos con el mismo peso)
- Mejor protección frente a arco eléctrico abierto que la competencia. (60% más de probabilidad de supervivencia)
- Certificados obtenidos tras 50-60 y 75 lavados industriales + secado.
- Mejores prestaciones de confort por la mayor presencia algodón, 87%.

Como desventaja destacar la solidez del algodón.

Un innovador tejido: NOMEX

Las prendas hechas con fibra Nomex® son intrínsecamente resistentes a las llamas, son más livianas para aumentar el confort y son transpirables. Los

innovadores tejidos Nomex® disipan rápidamente el sudor a través del tejido, lo que hace que quien las lleva se sienta más seco y más cómodo.

Nomex® es una solución económica en su relación coste-uso, gracias a su excepcional durabilidad.

El laboratorio de pruebas, somete a las prendas confeccionadas con fibra Nomex® a una serie rigurosa de casos de incendio que simulan situaciones de la vida real, lo que hace que sea uno de los dispositivos más avanzados de evaluación de lesiones por quemaduras térmicas de todo el mundo. Nomex® es el tejido al que recurren los fabricantes que hacen productos de protección térmica de personas y procesos industriales críticos.

Se trabaja de manera constante con los fabricantes de prendas para ayudarles a crear productos fabricados con fibra resistente a las llamas de marca Nomex® que sean más fuertes, duraderos y seguros. Su compromiso con la innovación tiene como objetivo ayudar a las personas y a los materiales a rendir mejor, incluso en condiciones extremas.

Pero la protección que ofrece la ropa Nomex, no sólo se aplica a los bomberos, sino que se puede aplicar a las personas y procesos de un amplio rango de usos de todo el mundo. Nomex aporta a la ropa de protección de los trabajadores industriales resistencia frente a las llamas, desde el intenso calor y llamas de un incendio, explosiones de fuego, arcos eléctricos y en las exposiciones al fuego. Nomex también se utiliza en multitud de aplicaciones, tales como en los vehículos, en sus componentes, en sistemas de turbinas de aire, en componentes aeronáuticos, en transformadores eléctricos, entre otros.

¿Cómo funciona? Nomex es una fibra revolucionaria resistente a las llamas y al calor que reacciona en situaciones críticas. Cuando está expuesto al calor extremo, Nomex sufre cambios, cambia sus propiedades para capturar más energía en la tela, dando al portador segundos extras de protección frente a la transferencia de calor.

Desarrollo, Resultados y Discusión general

Con respecto al confort, la ropa hecha con Nomex se caracteriza por el más bajo peso posible en el más alto nivel de protección, la transpirabilidad para reducir el estrés térmico y la capacidad de absorber y expulsar la humedad.

Disponible en una amplia gama de colores y estilos, la fibra Nomex ayuda a la ropa a mantener su talla y forma después de muchos lavados aportando un aspecto profesional.

Composición de tejido NOMEX: 93% Nomex; 5% Kevlar; 2% Fibra Antiestática

La fibra Kevlar® ayuda a los fabricantes a proporcionar resistencia a altas temperaturas. Kevlar® es intrínsecamente resistente a las llamas y no se funde, a diferencia del nylon, el poliéster y el polietileno.

La tela Nomex está probada de acuerdo con la norma EN 1149-3 que certifica sus propiedades antiestáticas y cumple con los requisitos de protección electroestática de EN 1149-5 para la indumentaria de protección.

La tela también ofrece protección térmica contra el calor y las llamas (EN531, ISO/FDIS 11612, EN 469) y el arco eléctrico (IEC 61482-2/CDV).

También ofrece más protección en otros ámbitos:

Ayuda a brindar protección contra salpicaduras de productos químicos de bajo volumen y neblina (EN 13034) si se trata con acabado de fluorocarbono. Se pueden lograr propiedades adicionales al combinar telas hechas de fibras de DuPont™ Nomex® con otros materiales para brindar protección contra la lluvia, el frío y los ambientes fríos, y contra los peligros de corriente eléctrica de bajo voltaje.

Al final del documento, como Anexo VII, se adjuntará un catálogo de trajes y accesorios de protección contra el arco eléctrico. Este catálogo define el equipo que debe portar el trabajador en función de la potencia calorífica desprendida en un arco eléctrico.

4.6.2.2. Métodos de ensayo de la ropa de protección

En este epígrafe se describirán los métodos de ensayo a los que se somete la ropa de protección para comprobar su resistencia y la capacidad de protección que ofrecen y en función de esto decidir si es adecuada para ser utilizada. Estos métodos de ensayo vienen explicados en la norma UNE-EN 61482, en su parte 1, se explica el método de arco abierto para la determinación de la característica del arco (ATPV “valor de rendimiento térmico del arco” o E_{BT50} “energía umbral de rotura abierta”) de materiales resistentes a la llama para ropa y, en su parte 2, se explica el método de la caja de ensayo, tanto para los materiales como para las prendas de vestir, para la determinación de la clase de protección contra el arco de los materiales y la ropa por medio de un arco dirigido y constreñido (caja de ensayo).

UNE-EN 61482-1-1:2010

El método de ensayo descrito en la norma UNE-EN 61482-1-1:2010 se basa en la generación de un arco multidireccional y se conoce como método “ATPV” (Arc Thermal Performance Value). Se genera entre dos electrodos verticalmente opuestos. Las muestras se localizan alrededor de los electrodos, espaciados 120° entre ellos, serán 3 muestras en total en cada ensayo, tal y como aparece en la siguiente imagen de la norma:

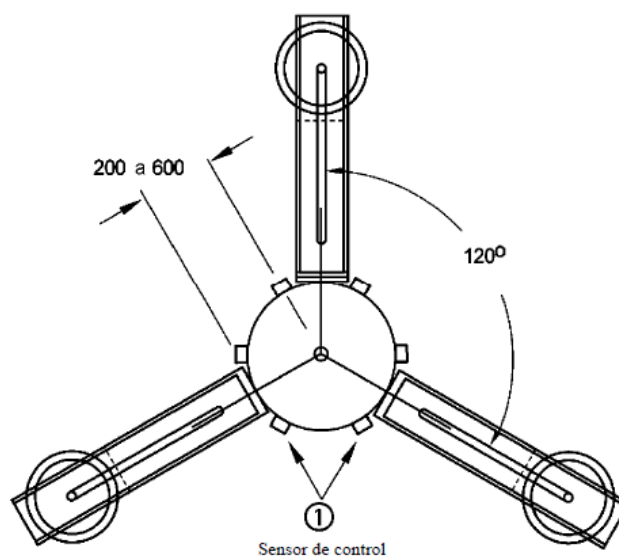


Figura 36. Disposición de tres paneles de dos sensores (vista en planta) para el ensayo (fuente: UNE EN 61482-1-1:2009)

Los sensores de control permiten determinar a partir del incremento promedio de temperatura junto a la muestra de ensayo la energía incidente en la muestra.

Hay dos métodos de ensayo: para comprobar la resistencia de los materiales expuestos a un arco eléctrico se utiliza el método A (los tejidos ensayados son en forma de probetas planas) y para evaluar el diseño de la ropa de protección se utiliza el método B.

Los métodos de ensayo especifican un conjunto normalizado de condiciones de exposición. Las condiciones de ensayo de arco abierto son:

- Duración del arco: **0.05s -2.5s**
- Electrodo hechos de acero inoxidable.
- Espacio entre electrodos: 300mm
- Espacio entre las muestras y los electrodos: 300mm

El ensayo se lleva a cabo con corriente de arco alterna de $8 \text{ kA} \pm 1 \text{ kA}$.

Diferentes condiciones de exposición pueden producir diferentes resultados.

En las siguientes imágenes se muestra la secuencia del arco originado para estos ensayos.

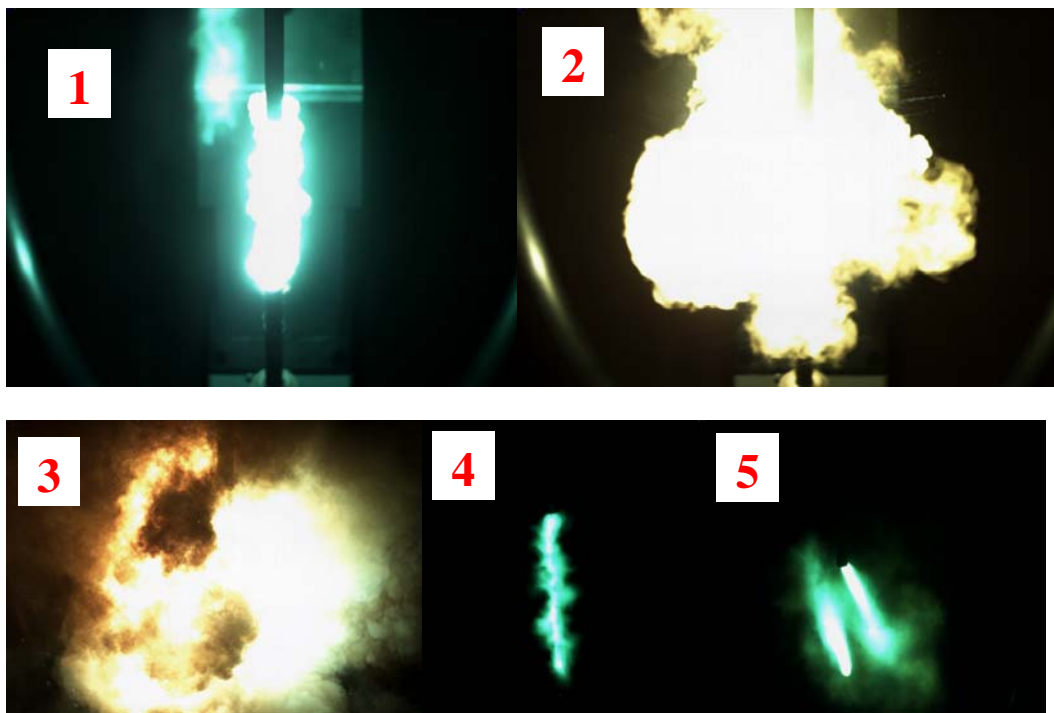


Figura 37. Secuencia de imágenes de generación de arco eléctrico según la norma UNE-EN 61482-1-1:2010 (fuente: AITEX)

MÉTODO DE ENSAYO A (Ensayo a tejido)

Tal y como dice la norma UNE-EN 61482-1-1:2010, el método de ensayo A determina la energía incidente que podría predecir la producción de quemaduras de segundo grado cuando los materiales están expuestos a la energía térmica de un arco eléctrico.

La cantidad de energía térmica transferida por los materiales se mide durante y después de la exposición al arco eléctrico.

Los valores de transferencia de calor se utilizan para predecir la aparición de quemaduras de segundo grado.

En la siguiente imagen se muestra la disposición de las muestras y el lugar en el que se genera el arco eléctrico.



*Figura 38. Disposición de las muestras en el Método A
(fuente: AITEX)*



*Figura 39. Generación de arco eléctrico en el método A
(fuente: AITEX)*

La respuesta del material se describe por los efectos observados en las muestras expuestas al arco eléctrico. En la siguiente imagen aparecen 3 muestras con distintos comportamientos:

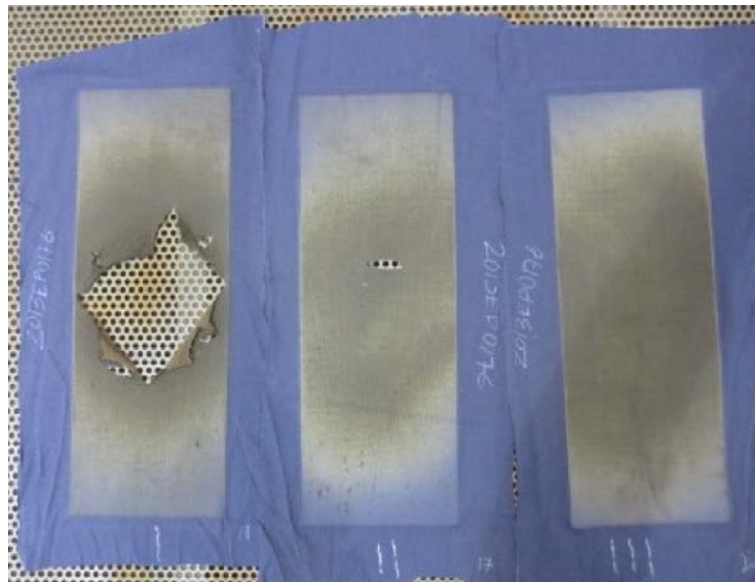


Figura 40. Comportamiento de los tejidos frente a arco eléctrico (fuente: AITEX)

El método de ensayo A mide el valor del comportamiento térmico, frente al arco, de materiales destinados a ropa resistente a la llama para trabajadores expuestos a riesgo de arco eléctrico. Este método de ensayo se destina a la determinación del valor del comportamiento térmico de un material en sí mismo o en comparación con otros materiales.

MÉTODO DE ENSAYO B

El método de ensayo B se utiliza para evaluar el diseño de la ropa de protección o para la reconstrucción de accidentes. Las prendas de vestir deben evaluarse con los elementos de confección, bolsillos y elementos de cierre tal como se fabrica, pero no se puede medir la energía incidente debido a la influencia del diseño de estos elementos de las prendas de vestir, tales como bolsillos y cierres de varias capas en la transferencia de calor a los sensores.

Las prendas hechas de materiales o sistemas de materiales que se han ensayado previamente siguiendo el método A, deben ensayarse previamente como paneles siguiendo el método A para, a continuación, ensayarse la prenda hecha con los materiales previamente ensayados según el método B.

En el método B no se utilizan probetas planas, se ensaya con tres maniqués dispuestos de la misma manera que en el método A.

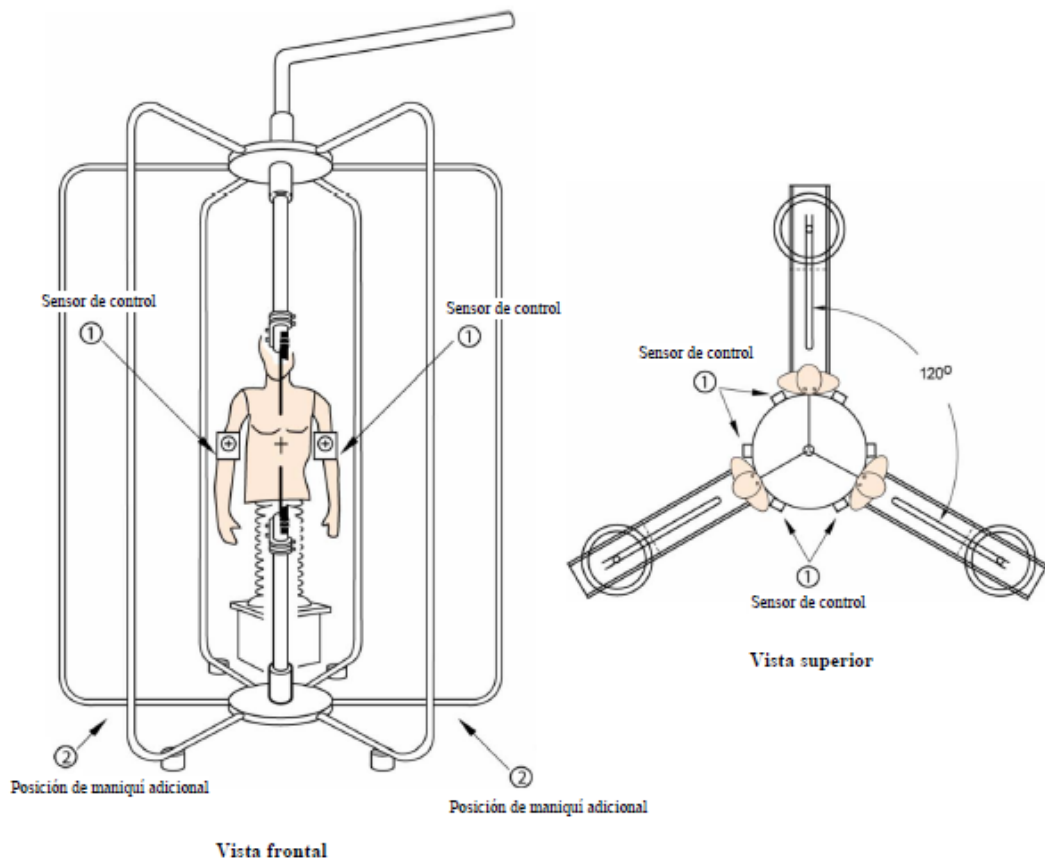


Figura 41. Posición de los maniqués y sensores de control en el método de ensayo B (fuente: UNE-EN 61482-1-1:2009)

UNE EN 61482-1-2:2015

El método de ensayo descrito en la norma UNE EN 61482-1-2:2015 se basa en la generación de un arco eléctrico dirigido y constreñido en un circuito de baja tensión mediante el uso de una caja de ensayo un material no conductor tanto

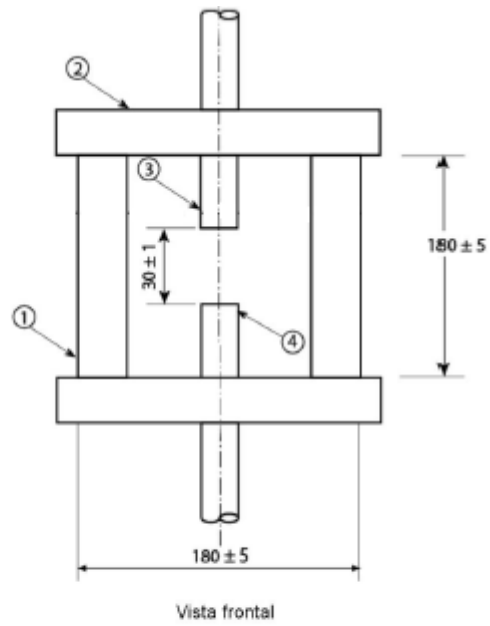
eléctricamente como térmicamente y resistente al calor, como por ejemplo el yeso de una calidad que proporcione una superficie lisa y rígida. Este método se conoce como “Box test” y se utiliza para determinar si los materiales y la ropa alcanzan la protección térmica contra el arco en condiciones definidas. Los materiales y la ropa serán sometidos a dos procedimientos: el procedimiento de ensayo de la caja para materiales y el procedimiento de ensayo de la caja para prendas. El método de ensayo permite la evaluación del rendimiento térmico frente al arco de los materiales y prendas de vestir en términos del nivel de energía de la clase de protección seleccionada. Existen dos tipos de protección: La clase 1 representa un nivel básico de protección y la clase 2 una mayor protección. Los parámetros de ensayo serán distintos para cada clase de protección y vienen definidos en la siguiente imagen:

Clase de protección de arco	Intensidad de ensayo kA	Tensión de ensayo V c.a.	Duración de arco ms
Clase 1	4 ± 5%	400 ± 5%	500 ± 5%
Clase 2	7 ± 5%	400 ± 5%	500 ± 5%

El intervalo de los electrodos debe ser de 30 mm ± 1 mm, la distancia entre el eje del arco y la superficie de la placa de ensayo o maniquí (torso) debe ser de 300 mm ± 5 mm.

*Figura 42. Condiciones de ensayo para las clases 1 y 2
(fuente: UNE EN 61482-1-2:2015)*

En la siguiente imagen se muestra la disposición de la caja de ensayo para ambos procedimientos:



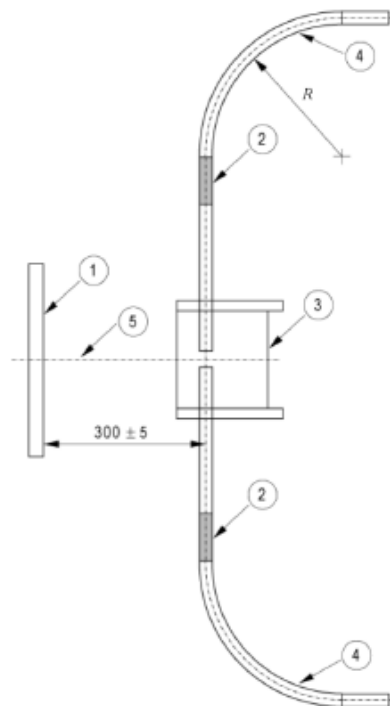
Leyenda

- 1 Caja, material no conductor resistente al calor (por ejemplo yeso)
- 2 Placa aislante, espesor > 15
- 3 Electrodo $\varnothing 25 \pm 0,1$ (aluminio)
- 4 Electrodo $\varnothing 25 \pm 0,1$ (cobre)

Figura 43. Disposición de la caja de ensayo (fuente: UNE-EN 61482-1-2:2015)

A continuación, se muestra la disposición del montaje de ensayo:

Medidas en milímetros



Leyenda

- 1 Placa de ensayo con la muestra (400 × 400, espesor > 10) o maniquí de prueba (torso)
- 2 Cable conector
- 3 Caja de ensayo
- 4 Cable de conexión ($R > 1\ 000$)
- 5 Eje horizontal

Figura 44. Disposición del montaje de ensayo (fuente: UNE EN 61482-1-2:2015)

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE LA CAJA PARA MATERIALES

Según la norma UNE EN 61482-1-2:2015 el procedimiento de ensayo de la caja para material determina el comportamiento de los materiales cuando se exponen a la energía calorífica de arcos eléctricos con características específicas.

La cantidad de energía calorífica transferida por los materiales planos se mide durante y después de la exposición a un arco eléctrico especificado.

Los datos de la transferencia de calor se utilizan para evaluar la incidencia de una quemadura de segundo grado.

La respuesta del material se debe describir después con más detalle mediante el registro de los efectos observados de la exposición al arco eléctrico en las probetas.

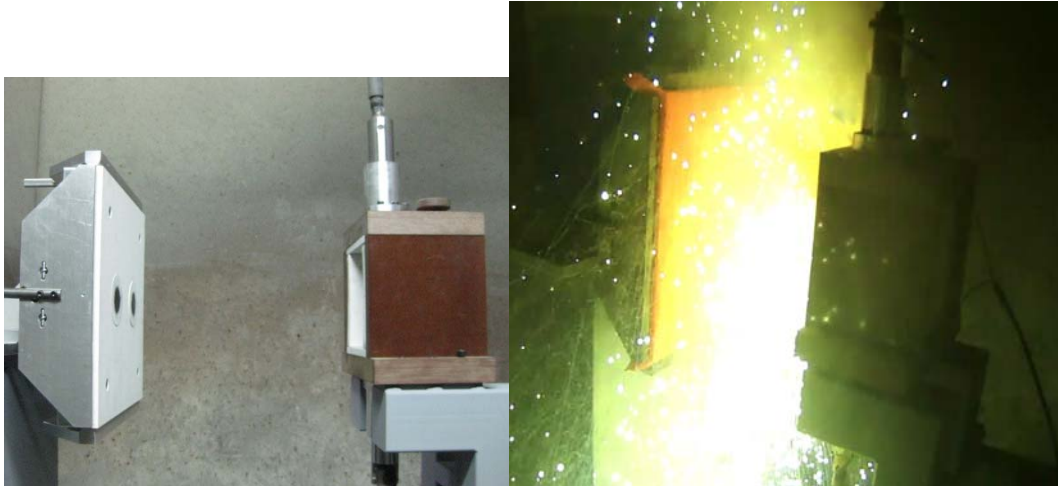


Figura 45. Montaje de ensayo real y generación de arco eléctrico para materiales. UNE-EN 61482-1-2:2015 (fuente: AITEX)



Figura 46. Muestra antes del ensayo y después del ensayo para materiales. UNE-EN 61482-1-2:2015 (fuente: AITEX)

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE LA CAJA PARA PRENDAS

Como dice la norma UNE EN 61482-1-2:2015, el procedimiento de ensayo de la caja para prendas determina el comportamiento de las prendas cuando se exponen a la energía calorífica de arcos eléctricos con características específicas.

El rendimiento de la ropa por este procedimiento se determina mediante la evaluación de la función de la ropa de protección después de la exposición a un arco eléctrico especificado, incluyendo todos los detalles de la confección, hilo de coser, cierres y otros accesorios.



Figura 47. Montaje de ensayo real para prendas. UNE-EN 61482-1-2:2015 (fuente: AITEX)



Figura 48. Muestra antes del ensayo y después del ensayo para prendas. UNE-EN 61482-1-2:2015. (fuente: AITEX)

El nivel de protección térmica que ofrece el equipo de protección individual puede ser especificado de dos formas:

- Mediante una clase de protección que indica el nivel de energía del arco hasta que el equipo de protección individual protege: Clase 1 o Clase 2.
- Mediante un valor numérico (expresado en kJ/m^2 o cal/cm^2) que indica el rendimiento térmico del material ante un arco.

NOTA: Los parámetros anteriores no son comparables ni transformables uno en otro, de modo que la selección se debe hacer en base a uno de ellos.

4.6.3. Ropa de trabajo en combinación con la de protección

Hay que tener en cuenta el resto de prendas que utilizan normalmente los trabajadores simultáneamente con la ropa de protección. Las prendas interiores o exteriores pueden mermar la eficacia de la protección que tienes en caso de arco eléctrico. En estos casos puede existir un grave deterioro de las prendas con

efectos dañinos para el trabajador, por ejemplo, si se usan tejidos sintéticos como ropa interior o prendas de abrigo con este revestimiento sintético.

No se deberá mezclar vestuario de protección ignífuga con ropa de algodón o poliéster, ya que un fallo en la protección de este tipo puede hacer que la ropa de algodón o poliéster arda provocando graves quemaduras en áreas extensas del cuerpo del trabajador.

4.7. Encapsulado de elementos adyacentes con tensión

El encapsulado de partes en tensión se realiza con elementos que no se consideran de protección individual. Estos equipos están hechos de material aislante y la mayoría de ellos basan su eficacia en su elevada resistencia eléctrica, que se utiliza para limitar la intensidad que pasa a través del cuerpo del trabajador en caso de accidente. En los siguientes apartados se describe cada uno de estos elementos.

4.7.1. Banquetas y alfombrillas



Alfombrillas aislantes. Son láminas flexibles de material con excelentes propiedades aislantes, generalmente caucho y en algunas ocasiones goma sintética, sobre la que se coloca el trabajador para incrementar significativamente la resistencia al paso de la corriente. Hay que decir que sólo son efectivas si el camino que recorre la corriente eléctrica a través del cuerpo pasa por los pies del trabajador, como sucede en la mayoría de las ocasiones, ya que es la zona de salida más habitual. Se fabrican en diferentes espesores, incrementándose su resistencia a

la vez que lo hace el espesor. Deben almacenarse adecuadamente para que no sufran daños (grietas o perforaciones), pues su rigidez eléctrica puede verse gravemente alterada por este tipo de defectos. También es conveniente preservarlas dentro de lo posible de la luz solar, ya que los materiales que las componen se degradan por la acción de la radiación ultravioleta.

Se utilizan en todo lugar donde el riesgo eléctrico esté presente, frente a tableros eléctricos de baja, media y alta tensión. Situaciones que usualmente no se consideran peligrosas por involucrar corriente eléctrica de baja tensión, suelen provocar accidentes que pueden ser fatales. Se recomienda inspeccionarlas una vez al año.



Banquetas aislantes. Al igual que las alfombrillas sirven para proporcionar a los trabajadores aislamiento respecto a tierra. Se fabrican en material plástico y la superficie de la plataforma es rugosa y antideslizante. La terminación de las patas, generalmente, lleva incorporados tacos de goma que le confieren una mayor adherencia al suelo y protección al desgaste. En suelos encharcados son preferibles a las alfombrillas, pues las primeras pueden no resultar efectivas al ser el agua un buen conductor de la electricidad.

4.7.2. Telas y separadores vinílicos



Son dispositivos aislantes que se usan en instalaciones de baja tensión sobre partes activas, para cubrir los conductores desnudos o aquellos cuyo aislamiento es defectuoso o insuficiente, y así evitar un contacto accidental del trabajador. Están fabricadas en vinilo y cuentan con un espesor de, aproximadamente, 0,3 mm.

5. Conclusiones y recomendaciones

Con este documento, se pretende dar una visión de la necesidad de asegurar la protección personal eficaz a los trabajadores que realicen sus labores en instalaciones de BT con alta potencia de cortocircuito. Como se muestra, hay diversidad de tejidos que garantizan protección frente a arcos eléctricos, y estos se someten a ensayos, realizados por organismos certificados.

Para garantizar una protección eficaz, se recomienda definir y señalar aquellos puntos de la instalación con mayor riesgo de cortocircuito y en los que mayor cantidad de energía calorífica se pueda desprender, para que, en el caso de que se tenga que intervenir o maniobrar, se advierta la protección personal que han de llevar los trabajadores.

Una solución adecuada de vestuario de protección personal frente a una determinada cantidad de energía calorífica puede ser la combinación de dos prendas de protección de menor energía calorífica cada una. Esta combinación puede proporcionar mayor protección que una única prenda.

El empresario elegirá aquella opción que mejor se adapte a la aceptación y confort del trabajador, manteniendo en términos de seguridad, una protección personal eficaz.

6. Bibliografía

Ley 31/1995, del 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 10 de noviembre de 1995, núm. 269, pp. 32590 a 32611.

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto de 2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. *Boletín Oficial del Estado*. Palma de Mallorca, 18 de septiembre de 2002, núm. 224, pp. 33084 a 33086.

Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud relativas a la utilización por los trabajadores de Equipos de Protección Individual. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 12 de junio de 1997, núm. 140, pp. 18000 a 18017.

Real Decreto 614/2001, del 8 de junio de 2001, sobre Disposiciones Mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores frente al Riesgo Eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 21 de junio de 2001, núm. 148, pp. 21970 a 21977.

Real Decreto 485/1997, del 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones Mínimas en Materia de Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 23 de abril de 1997, núm. 97, pp. 12911 a 12918.

Real Decreto 486/1997, del 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones Mínimas en Seguridad y Salud en Lugares de Trabajo. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 23 de abril de 1997, núm. 97, pp. 12918 a 12926.

UNE-EN 50286:2000. *Ropa aislante de protección para trabajos en instalaciones de baja tensión*. AENOR.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Guía Técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico*.

Marcos Pérez Formigó. Nota Técnica de Prevención nº 904. *Arco eléctrico: estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador*. Año: 2011. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Marcos Pérez Formigó. Nota Técnica de Prevención nº 957. *Arco eléctrico: caso práctico de estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador*. Año: 2012. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

NFPA 70E. *Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo*. Edición 2009.

UNE-EN ISO 11612:2015. *Ropa de protección. Ropa de protección contra el calor y la llama. Requisitos mínimos de rendimiento (ISO 11612:2015)*. AENOR.

UNE-EN 61482-1-1:2010. *Trabajos en tensión. Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico. Parte 1-1: Métodos de ensayo. Método 1: Determinación de la característica del arco (APTV o EBT50) de materiales resistentes a la llama para ropa*. AENOR.

UNE-EN 61482-1-2:2008. *Trabajos en tensión. Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico. Parte 1-2: Métodos de ensayo. Método 2: Determinación de la clase de protección contra el arco de los materiales y la ropa por medio de un arco dirigido y constreñido (caja de ensayo)*. (IEC 61482-1-2:2007). AENOR.

Asociación Española de la Industria Eléctrica (UNESA-AMYS). *Trabajos en Tensión. Instrucción General para trabajos en tensión en baja tensión*. Edición 2002.

Segurinsa. Catálogo: ARC FLASH. SIBILLE SAFE. *Trajes y accesorios de protección contra el arco eléctrico*.

Westex by Milliken. Westex: A World Leader In Flame Resistant Fabrics. <http://es.westex.com/>

DuPont. DuPont España. <http://www.dupont.es/productos-y-servicios/equipo-de-proteccion-individual/ropa-de-proteccion-quimica/uses-and-applications/industrial-protective-clothing.html>.

Sofamel. <http://sofamel.com/es/product-catalogue/safety/insulation>

Jose Antonio Fernández García. *Equipos utilizados para la prevención de accidentes eléctricos (2)*. <http://www.picote.com/>

Grupo Temper. CATÁLOGO GENERAL 2014-2015. <http://grupotemper.com/>

Mesa. Catálogo: APARELLAJE MT 510. <http://www.mesa.es/>

7. Anexos

7. Anexos	80
7.1. Anexo I. NTP 957.....	81
7.2. Anexo II. Resultados energía calorífica incidente mediante métodos NFPA 70E y IEEE 1584 para intensidades de cortocircuito máximas	85
7.3. Anexo III. Resultados energía calorífica en cuadro de BT para distintos tiempos e intensidades de cortocircuito según método NFPA 70E y IEEE 1584	87
7.4. Anexo IV. Ejemplo de etiqueta de ropa de protección.....	90
7.5. Anexo V. Catálogo de ropa de protección ELASTIS FR.....	91
7.6. Anexo VI. Catálogo de ropa de protección INDURA ULTRA SOFT.	94
7.7. Anexo VII. Catálogo de vestuario de protección frente a arco eléctrico en función de la energía calorífica.....	97

7.1. Anexo I. NTP 957



Arco eléctrico: caso práctico de estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador

*Arc flash: Practical case of estimation of thermal incident energy on worker
Arc électrique: cas pratique d'estimation de l'énergie calorifique incidente sur le travailleur*

Redactor:

Marcos Pérez Formigó
Ingeniero de Telecomunicación
CENTRO NACIONAL DE MEDIOS
DE PROTECCIÓN

En la presente Nota Técnica de Prevención se ponen en práctica los conceptos y recomendaciones recogidas en la NTP 904¹, "Arco Eléctrico: Estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador". En primer lugar, se detallan las características técnicas de la instalación eléctrica sobre la que se realizará el estudio. Posteriormente, se detallan las etapas a seguir para caracterizar el riesgo térmico asociado a un posible fenómeno de arco eléctrico en dicha instalación y, por último, se presentan algunas conclusiones, en base a los resultados obtenidos.

Vigencia	Actualizada	Observaciones
VÁLIDA		Complementa a la NTP 904

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN ESTUDIO

La instalación eléctrica sobre la que se estimará el riesgo térmico derivado de un arco, se recoge en la figura 1.

Tanto por medición in situ como por cálculo o verificación documental, se debe disponer de información técnica suficiente para caracterizar:

- la forma y los elementos utilizados para alimentar y distribuir la energía eléctrica en cualquier punto de la instalación;
- la respuesta de los dispositivos de protección ante las corrientes de cortocircuito previsible en cada punto de la instalación.

La información técnica que se dispone de la instalación eléctrica de la figura 1 hace referencia a la alimentación y distribución y a la respuesta de los dispositivos de protección.

Alimentación y distribución

A continuación se describen las características de los distintos elementos:

- Fuente de alimentación
 - Potencia Nominal: 400 kVA.
 - Tensión Nominal (BT): 400 V.
 - Corriente Nominal: 16 A.
 - Tensión de cortocircuito: 4%.
 - Corriente de cortocircuito máxima: 15,9 kA. (igual para trifásica/fase-neutro/fase-PE).
 - Potencia activa: 9,98 kW.
 - Potencia reactiva: 4,83 kvar.
- Sistema de distribución
 - TT/LLLN.
 - Resistencia de tierra: 1 Ω.
 - Cable WC2: PVC multipolar (Enterrado) 3x3x2,5 mm².
 - Cable WC3: PVC multipolar (En hueco de la construcción, no accesible) 3x3x4 mm²

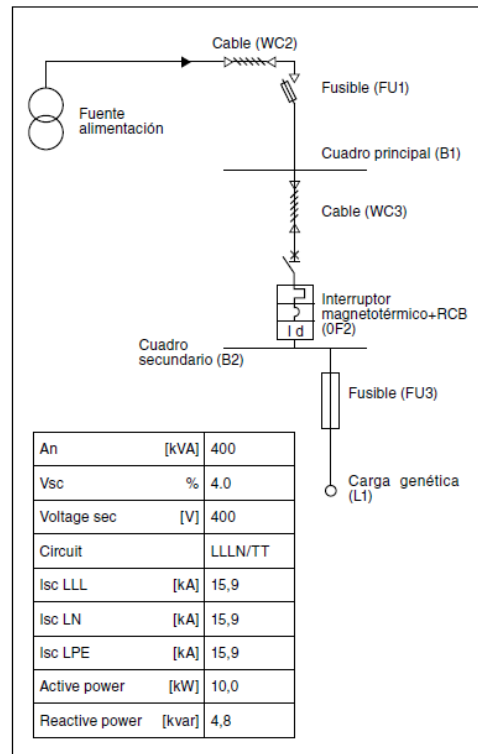


Figura 1. Instalación eléctrica en estudio

1. Véanse las referencias incluidas al final de este documento.

- Cuadro eléctrico B1
 - Tensión Nominal: 400 V.
 - Valor máximo de corriente de cortocircuito (trifásica): 3,85 kA.
- Cuadro eléctrico B2
 - Tensión Nominal: 400 V.
 - Valor máximo de corriente de cortocircuito (trifásica): 1,89 kA.
- Interruptor magneto-térmico QF2
 - Tipo C. Capacidad de interrupción: 6 kA. Corriente nominal: 20 A.
- Fusible FU3
 - NH400, Tipo: gG. Tamaño: 00. Corriente nominal: 16 A.

Respuesta de los dispositivos de protección

Las protecciones QF2 (interruptor magnetotérmico+RCB) y el fusible (FU3) presentan las curvas características que se indican en la figura 2, donde se representa la corriente máxima de cortocircuito en el cable WC3 y asimismo, se presentan las curvas tiempo-corriente de los dispositivos QF2 y FU3, a partir de las cuales se puede estimar un tiempo de corte de 10 ms (0,5 ciclos), para las corrientes de cortocircuitos que pueden darse en las zonas de la instalación afectadas por dichas protecciones.

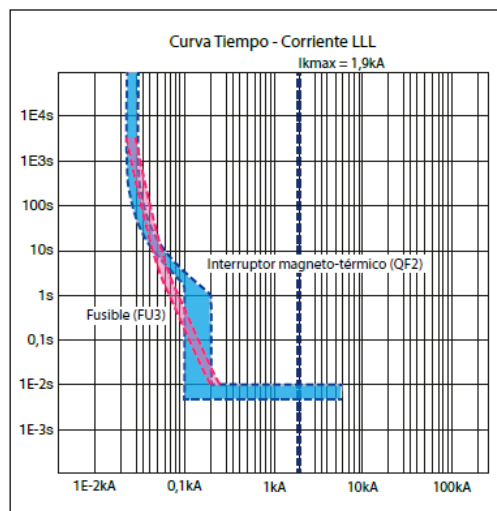


Figura 2. Curvas características corriente-tiempo de los dispositivos QF2 y FU3

La representación conjunta de los dispositivos de protección es muy importante, ya que permite analizar la posible coordinación y selectividad que se dan entre las protecciones. En la figura 2, se observa la selectividad entre las protecciones QF2 y FU3, para las diferentes corrientes de cortocircuito.

2. PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR EL RIESGO TÉRMICO ASOCIADO A UN ARCO ELÉCTRICO

A continuación, se siguen cada una de las etapas del procedimiento descrito en la figura 1 de la NTP 904 [1]:

Análisis del nivel de peligrosidad de un arco eléctrico

Debido a que la instalación eléctrica en estudio está alimentada por un transformador de 400 kVA y la tensión nominal es de 400 V ca, la energía portada por un posible arco eléctrico podría alcanzar niveles peligrosos y, por tanto, según se establece en la norma NFPA 70E-2009 [2], es necesario evaluar los riesgos térmicos asociados al arco eléctrico.

Por lo tanto, se debe calcular la zona de peligro frente al arco eléctrico y, dentro de esta zona, estimar la energía calorífica incidente sobre el trabajador.

Cálculo de la zona de peligro frente al arco eléctrico

Dicha zona de peligro frente al arco se define como aquella zona delimitada por el "Limite de protección frente al arco" (Flash Protection Boundary, FPB, en sus siglas en inglés), que es la distancia a la cual la energía incidente sobre el trabajador es superior a 1,2 cal/cm², nivel de energía que puede generar una quemadura de segundo grado en la piel humana.

Para la máxima corriente de cortocircuito ($I_{cc} = 1,89 \text{ kA}$) en la carga genérica L1, las protecciones actuarían en un tiempo de 10 ms (0,5 ciclos) y a partir del apartado 130.3 (A) de la NFPA 70E-2009 se obtiene:

$$FPB \approx \sqrt{5,1(P_{\text{transformador}})t_{\text{arco}}}$$

donde,

$P_{\text{transformador}}$ es el nivel de potencia del transformador (o transformadores), en MVA. Si el transformador (o transformadores) tiene un nivel de potencia inferior a 0,75 MVA, este índice se debe multiplicar por 1,25 y t_{arco} es la duración del arco en s.

$$FPB = 0,16 \text{ m}$$

Por lo tanto, la distancia de peligro frente al arco es la zona que se extiende desde el elemento en tensión hasta 160 mm.

Nota: En el caso en estudio, se cumple la condición: ($I_{cc} \times \text{tiempo de disparo}$) < 100 kA·ciclo y por tanto, la NFPA establece como límite máximo de la FPB un valor de 1,22 m. Sin embargo, como se comprobará más adelante, este valor es una sobreestimación del valor real que se obtiene a partir de los valores de la instalación.

Cálculo de la energía calorífica incidente sobre un trabajador dentro de la zona de peligro frente al arco eléctrico

Dentro de la zona de peligro frente al arco, se calcula la energía calorífica incidente sobre un trabajador expuesto a un arco eléctrico.

Tal como se especifica en la NTP 904 [1], en primer lugar se debe seleccionar el método de cálculo que mejor se ajuste a la instalación en estudio. Con fines didácticos, en la figura 3, a partir de las ecuaciones de las tablas 1 a 4 de la NTP 904 [1], se representan las estimaciones de energía calorífica incidente, que se obtendrían con cada uno de los métodos existentes:

Como puede observarse en la figura 3, las estimaciones de energía calorífica realizadas mediante el método NFPA 70E-2009 resultan bastante dispares con respecto a las obtenidas mediante los otros dos métodos (IEEE 1584-2002 y Método Lee). Esto se debe, fundamentalmente, a que las corrientes de cortocircuito de la insta-

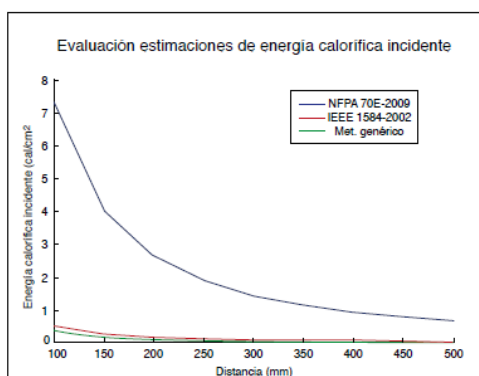


Figura 3. Energía calorífica vs distancia

lación en estudio se salen del ámbito de aplicación del método NFFA 70E-2009, y por tanto, este método no debería aplicarse a la instalación en estudio.

Influencia del tiempo de corte

En la figura 4 se representa la influencia del tiempo de corte en la energía calorífica incidente sobre los trabajadores a una distancia de 500 mm (límite de la zona de peligro para 400 V, según el RD 614/2001 [5]) para el método IEEE 1584-2002:

Como se observa en la figura 4, el diseño y coordinación de las protecciones de la instalación en estudio eliminan el riesgo térmico derivado de un arco dentro de la zona de trabajo en tensión. Sin embargo, si las protec-

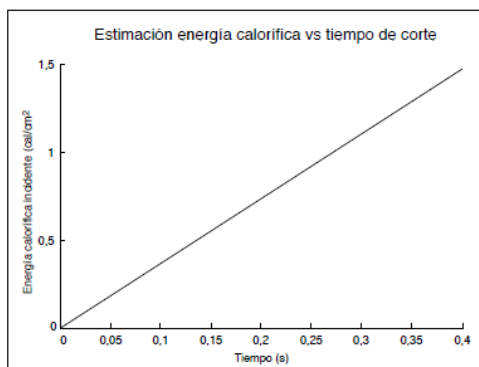


Figura 4. Energía calorífica vs tiempo de corte (Método IEEE 1584-2002)

ciones actuasen más tarde de 0,3 s (aproximadamente 5 ciclos), los trabajadores se verían expuestos a energías caloríficas superiores a 1,2 cal/cm², debiendo tomarse medidas de prevención y protección frente a los riesgos térmicos derivados del arco.

3. CONCLUSIONES

Aplicando los criterios establecidos en la tabla 1 del RD 614/2001 [5], para la instalación eléctrica objeto de este estudio (cuya tensión nominal es 400 V ca), se obtendrían las distancias límite de seguridad que se muestran en la figura 5.

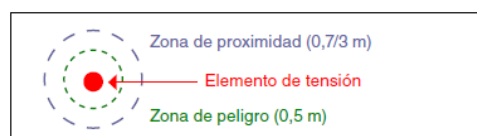


Figura 5. Distancias límites de seguridad según el RD 614/2001

En el propio RD 614/2001 [5] se establece, que, dentro dicha zona de peligro, los trabajadores desprotegidos se pueden ver expuestos al choque eléctrico o a los diferentes riesgos asociados a un arco eléctrico.

Como se ha comprobado en este estudio, las distancias límite de seguridad establecidas en el RD 614/2001 efectivamente cubren las zonas de peligro frente al choque y arco eléctrico.

Sin embargo, pueden darse situaciones en las que la zona de peligro frente al arco eléctrico sea superior a la zona de peligro establecida en la figura 5 y por tanto, mediante el procedimiento descrito a lo largo de este documento, se debería calcular la zona de peligro frente al arco y, dentro de dicha zona, la energía calorífica incidente sobre el trabajador.

Si dentro de la zona de peligro frente al arco, la energía calorífica incidente calculada se encuentre entre 1,2 – 40 cal/cm², se deben tomar medidas de prevención y emplear los equipos de protección adecuados al nivel de energía presente.

Por último, es importante resaltar la recomendación establecida en la norma NFFA-70E [2], que prohíbe realizar trabajos en tensión en la zona de peligro frente al arco, cuando dentro de dicha zona se alcancen valores de energía calorífica incidente igual o superior a 40 cal/cm². Esta recomendación se debe seguir independientemente de que existan equipos de protección tanto colectivos como individuales que soporten dichas energías caloríficas, ya que todavía se están investigando y desarrollando métodos que permitan caracterizar, de forma completa y conjunta, todos los riesgos asociados a los fenómenos que tienen lugar durante un arco eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

[1] PÉREZ FORMIGÓ, MARCOS
Arco Eléctrico: Estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador.
Nota Técnica de Prevención NTP 904, CNMP-INSHT, Septiembre 2010.

[2] Norma NFFA 70E-2009
Standard for Electrical Safety in the Workplace.

[3] Norma IEEE 1584-2002
Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations.

[4] LEE, R.H.
The other electrical hazard: electric arc blast burns.
IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. IA-18, No. 3, May/June 1982.

[5] Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la seguridad y salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

[6] Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

7.2. Anexo II. Resultados energía calorífica incidente mediante métodos NFPA 70E y IEEE 1584 para intensidades de cortocircuito máximas

TIPO DE INSTALACIÓN	Potencia de corto (kVA)	Intensidad de corto trifásico en Baja Tensión Ibf (kA)	Intensidad de corto trifásico en Media Tensión Ibf (kA)	tiempo de desconexión t (segundos)	Distancia de trabajo D (pulgadas)	Arco libre ó Arco en Caja (20 pulgadas)	Energía calorífica incidente E (cal/cm²)
Datos Empresa Distribuidora Eléctrica							
NFPA 70E							
CT con trafo de 1000 kVA							
En bornas BT de trafo	16,7	24,1	0,438	0,028	17,99	Arco libre	0,840997757
A la entrada del CGBT	16,0	23,0	0,418	0,028	17,99	Arco en Caja	1,210701655
A la salida del CGBT	16,0	23,0		0,0017	17,99	Arco en Caja	0,073506886
A 10 metros aguas abajo del CGBT	13,7	19,8		0,002	17,99	Arco en Caja	0,081523393
A 50 metros aguas abajo del CGBT	8,1	11,7		0,013	17,99	Arco en Caja	0,610829275
A 100 metros aguas abajo del CGBT	5,3	7,7		0,08	17,99	Arco en Caja	4,533531604
CT con trafo de 630 kVA							
En bornas BT de trafo	15,8	22,8	0,415	0,015	17,99	Arco libre	0,426448657
A la entrada del CGBT	15,1	21,8	0,396	0,015	17,99	Arco en Caja	0,62973827
A la salida del CGBT	15,1	21,8		0,0018	17,99	Arco en Caja	0,075568592
A 10 metros aguas abajo del CGBT	13,1	18,9		0,0025	17,99	Arco en Caja	0,101421647
A 50 metros aguas abajo del CGBT	7,9	11,3		0,013	17,99	Arco en Caja	0,620860368
A 100 metros aguas abajo del CGBT	5,2	7,6		0,08	17,99	Arco en Caja	4,557374389

TIPO DE INSTALACIÓN	Tensión nominal V (kV)	Potencia Trafo (MVA)	Potencia de corto (kVA)	Intensidad de corto trifásico en Baja lbf (kA)	Intensidad de corto trifásico en Media lbf (kA)	tiempo de desconexión t, (segundos)	Distancia de trabajo D (mm)	Distancia entre conductores G (mm)	x (fac. Dist)	K	K1	K2	Cf	log(Ia)	log(En)	En	Energía Incidente IEEE 1584 E (cal/cm2)
IEEE 1584																	
CT con trafo de 1000 kVA																	
En bornas BT de trafo	0,4	1	16,7	24,1	0,438	0,028	457	40	2	-0,153	-0,792	-0,113	1,5	0,9624	0,1794	1,5114	0,5655
A la entrada del CGBT	0,4	1	16,0	23,0	0,418	0,028	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	1,0571	0,5023	3,1788	1,0722
A la salida del CGBT	0,4	1	16,0	23,0		0,0017	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	1,0571	0,5023	3,1788	0,0651
A 10 metros aguas abajo del CGBT	0,4	1	13,7	19,8		0,002	457	32	1,473	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,9806	0,4272	2,6741	0,0614
A 50 metros aguas abajo del CGBT	0,4	1	8,1	11,7		0,013	457	32	1,473	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,8005	0,2325	1,7080	0,2548
A 100 metros aguas abajo del CGBT	0,4	1	5,3	7,7		0,08	457	32	1,473	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,6572	0,0777	1,1958	1,0979
CT con trafo de 630 kVA																	
En bornas BT de trafo	0,4	0,63	15,8	22,8	0,415	0,015	457	40	2	-0,153	-0,792	-0,113	1,5	0,9440	0,1595	1,4438	0,2894
A la entrada del CGBT	0,4	0,63	15,1	21,8	0,396	0,015	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	1,0383	0,4819	3,0332	0,5481
A la salida del CGBT	0,4	0,63	15,1	21,8		0,0018	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	1,0383	0,4819	3,0332	0,0658
A 10 metros aguas abajo del CGBT	0,4	0,63	13,1	18,9		0,0025	457	13	2	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	1,0284	0,4580	2,8705	0,0959
A 50 metros aguas abajo del CGBT	0,4	0,63	7,9	11,3		0,013	457	13	2	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,8394	0,2537	1,7934	0,3115
A 100 metros aguas abajo del CGBT	0,4	0,63	5,2	7,6		0,08	457	13	2	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,6936	0,0961	1,2478	1,3339

7.3. Anexo III. Resultados energía calorífica en cuadro de BT para distintos tiempos e intensidades de cortocircuito según método NFPA 70E y IEEE 1584

NFPA 70E	<u>Potencia de corto (kVA)</u>	<u>Intensidad de corto trifásico en Baja Tensión Ibf (kA)</u>	<u>Intensidad de corto trifásico en Media Tensión Ibf (kA)</u>	<u>tiempo de desconexión t (segundos)</u>	<u>Distancia de trabajo D (pulgadas)</u>	<u>Arco libre ó Arco en Caja (20 pulgadas)</u>	<u>Energía calorífica incidente NFPA 70E E (cal/cm2)</u>
CT CON TRAFO DE 1000 KVA							
A la entrada del CGBT	16	7,975	0,145	10	17,99	Arco en Caja	558,636291
		9,625	0,175	1			51,46419129
		10,45	0,19	0,5			24,77162621
		12,65	0,23	0,1			4,532936517
A la salida del CGBT	16	1,9		10	17,99	Arco en Caja	784,6889209
		3,95		1			69,71422401
		4,8		0,5			33,21039478
		7,1		0,1			5,849831335
CT CON TRAFO DE 630 KVA							
A la entrada del CGBT	16	4,345	0,079	10	17,99	Arco en Caja	681,5920755
		5,5	0,1	1			63,85668599
		6,49	0,118	0,5			30,22937081
		9,24	0,168	0,1			5,242423258
A la salida del CGBT	16	1,9		10	17,99	Arco en Caja	784,6889209
		3,95		1			69,71422401
		4,8		0,5			33,21039478
		7,1		0,1			5,849831335

Anexos

IEEE 1584	<u>Tensión nominal</u> V (kV)	<u>Potencia Trafo</u> (MVA)	<u>Intensidad de corto trifásico en Baja</u> Ibf (kA)	<u>Intensidad de corto trifásico en Media</u> Ibf (kA)	<u>tiempo de desconexión</u> t _d (segundos)	<u>Distancia de trabajo</u> D (mm)	<u>Distancia entre conductores</u> G (mm)	<u>x</u> (fac. Dist)	<u>K</u>	<u>K1</u>	<u>K2</u>	<u>Cf</u>	<u>log(Ia)</u>	<u>log(En)</u>	<u>En</u>	<u>Energía Incidente IEEE 1584 E</u> (cal/cm ²)
A la entrada del CGBT	0,4	1	7,975	0,145	10	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,685	0,100	1,258	151,562
			9,625	0,175	1								0,651	0,704	5,055	60,899
			10,45	0,19	0,5								0,675	0,729	5,362	32,295
			12,65	0,23	0,1								0,730	0,789	6,147	7,405
A la salida del CGBT	0,4	1	1,9		10	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,180	-0,445	0,359	43,194
			3,95		1								0,395	0,427	2,673	32,196
			4,8		0,5								0,451	0,488	3,073	18,507
			7,1		0,1								0,564	0,609	4,066	4,898
A la entrada del CGBT	0,4	0,63	4,345	0,079	10	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,471	-0,131	0,739	89,082
			5,5	0,1	1								0,490	0,530	3,387	40,802
			6,49	0,118	0,5								0,538	0,581	3,813	22,967
			9,24	0,168	0,1								0,639	0,691	4,910	5,915
A la salida del CGBT	0,4	0,63	1,9		10	457	25	1,641	-0,097	-0,555	-0,113	1,5	0,180	-0,445	0,359	43,194
			3,95		1								0,395	0,427	2,673	32,196
			4,8		0,5								0,451	0,488	3,073	18,507
			7,1		0,1								0,564	0,609	4,066	4,898

7.4. Anexo IV. Ejemplo de etiqueta de ropa de protección.

Tipo de etiqueta:



60% Modacrílico/Modacrílicas
 35% Algodón/Algodão
 4,5% Poliamida
 0,5% Fibra Antiestática



Prenda ignífuga permanente durante toda su vida útil.
 Vestuário ignífugo permanente durante toda a sua vida útil.

Ensayada según requisitos de lavado EN ISO 11612 EN 61482
 Testada segundo os requisitos de lavagem EN ISO 11612 EN 61482

TEXTULAN, S.A.

Avda. de la Industria, 19
 Coslada (Madrid) - ESPAÑA - ESPANHA -
 CIF: A78870177

Lavado:



- Temperatura máxima de lavado 40°C.
- Prohibido utilizar lejías en el lavado.
- Se puede secar en secadora a temperatura reducida.
- Planchar a temperatura media, máximo 150°C.
- Limpieza en seco con percloroetileno.

7.5. Anexo V. Catálogo de ropa de protección ELASTIS FR.

**CAMISA MANGA LARGA ELASTIS® FR 100**

- ✓ Tejido 50% Modacrílico/40% Algodón/7% Poliamida/1% Fibra antiestática/2% Elastano.
Peso 220 gr/m².
- ✓ EPI de CAT III (Original y tras **60 lavados**):
EN 13688; EN 11612; EN 1149-5
EN 61482. Clase 1; EN 61482. Clase 2
(Con Cazadora Elastis® F-300).
- ✓ Ensayada según UNE-EN 15797 para lavado industrial tras 60 ciclos a 75^aC y secado en tumbler.





CAZADORA ELASTIS® FR 200

- ✓ Tejido 50% Modacrílico/40% Algodón/7% Poliamida/1% Fibra antiestática/2% Elastano.
Peso 260 gr/m²
- ✓ EPI de CAT III (Original y tras **60 lavados**):
EN 13688; EN 11612; EN 11611; EN 1149-5 EN 61482. Clase 1; EN 61482; EN 30023.
- ✓ Ensayada según UNE-EN 15797 para lavado industrial tras 60 ciclos a 75°C y secado en tumbler.



PANTALÓN ELASTIS® FR 200

- ✓ Tejido 50% Modacrílico/40% Algodón/7% Poliamida/1% Fibra antiestática/2% Elastano.
Peso 260 gr/m².
- ✓ EPI de CAT III (Original y tras 60 lavados):
EN 13688; EN 11612; EN 11611; EN 1149-5 EN 61482. Clase 1; EN 30023
- ✓ Ensayada según UNE-EN 15797 para lavado industrial tras 60 ciclos a 75°C y secado en tumbler.





CAZADORA ELASTIS® FR 300

- ✓ Tejido 50% Modacrílico/40% Algodón/7% Poliamida/1% Fibra antiestática/2% Elastano.
Peso 310 gr/m²
- ✓ EPI de CAT III (En proceso, Enero 2015):
EN 13688; EN 11612 (E2); EN 11611;
EN 1149-5 EN 61482. Clase 1; EN 61482
Clase 2 (En conjunto con la camisa
Elastis FR 100).
- ✓ En proceso de ensayo según UNE-EN
15797 para lavado industrial tras 60 ciclos
a 75°C y secado en tumbler.



PANTALÓN ELASTIS® FR 300

- ✓ Tejido 50% Modacrílico/40% Algodón/7% Poliamida/1% Fibra antiestática/2% Elastano.
Peso 310 gr/m².
- ✓ EPI de CAT III (En proceso, Enero 2015):
EN 13688; EN 11612 (E2); EN 11611;
EN 1149-5 EN 61482. Clase 1; EN 61482
Clase 2 (En conjunto con la camisa
Elastis FR 100).
- ✓ En proceso de ensayo según UNE-EN
15797 para lavado industrial tras 60 ciclos
a 75°C y secado en tumbler.



7.6. Anexo VI. Catálogo de ropa de protección INDURA ULTRA SOFT.

www.iturri.com
Septiembre 2012

➤ Camisa INDURA ULTRA SOFT AT






Código	215113
Descripción	Prenda ignífuga, antiestática y de protección contra riesgo de exposición al Arco Eléctrico. Cierre de delantero por botones y ojales. Dos bolsillos de parche en delanteros, con cierre por tapeta y botón. Cuello camisero de dos piezas, pala y pie de cuello. Manga larga con cierre por puño y botón.
Tejidos	Tejido ignífugo permanente durante toda la vida de la prenda* * Informe ensayo Atilex NP 2012CO2167 Tras someter al tejido a 75 lavados y 75 secados industriales, s/ EN 15797 a 60 °C éste sigue siendo ignífugo Test de fuego de acuerdo a EN 11612
Composición	87% Algodón, 12% Poliamida, 1% Fibra antiestática. 185 g/m ² .
Colores	Azul marino en stock. Colores s/ carta, bajo pedido
Tallas	Desde 38 a 58
Normativa	E.P.I. Categoría III. Real Decreto 1407/92. (Directiva 89/686/CEE). - EN 340: Ropa de protección. Requisitos generales. - EN 11612: Ropa de Protección contra el calor y la llama - EN 1149-5: Ropa de protección con propiedades electrostáticas. - EN 61482 1-2: Arco eléctrico en caja Camisa por separado Clase 1 (4 kA) Camisa + cazadora Clase 2 (7 kA) - IEC 61482-1-1: Arco eléctrico abierto ATPV: Camisa: 6,1 cal/ cm2 ATPV: Camisa + cazadora: > 30 cal/ cm2
Mantenimiento	













➤ Cazadora INDURA ULTRA SOFT AT

Código	215114
Descripción	Prenda ignífuga, antiestática, para soldadores y de protección contra riesgo de exposición al Arco Eléctrico. Cierre por cremallera oculta por tapeta. Dos bolsillos de parche en delantero con cierres por tapeta y velcro. Cuello de una pieza con tapa-boca. Manga larga pegada, con puño camisero con cierre velcro.
Tejidos	Tejido ignífugo permanente durante toda la vida de la prenda* * Informe ensayo Autex Nº 2012CO2167 Tras someter al tejido a 75 lavados y 75 secados industriales, s/ EN 15797 a 60 °C éste sigue siendo ignífugo Test de fuego de acuerdo a EN 11612
Composición	87% Algodón, 12% Poliamida, 1% Fibra antiestática. 305 g/m ² .
Colores	Azul marino en stock. Colores s/ carta, bajo pedido
Tallas	Desde 48 a 70
Normativa	E.P.I. Categoría III. Real Decreto 1407/92. (Directiva 89/686/CEE). - EN 340: Ropa de protección. Requisitos generales. - EN 11612: Ropa de Protección contra el calor y la llama - EN 11611: Ropa de Protección para soldadores. Clase 1. - EN 1149-5: Ropa de protección con propiedades electrostáticas. - EN 61482 1-2: Arco eléctrico en caja . Cazadora por separado Clase 1 (4 kA) Camisa + cazadora Clase 2 (7 kA) - IEC 61482-1-1: Arco eléctrico abierto ATPV: Cazadora: 15 cal/ cm2 ATPV: Camisa + cazadora: > 30 cal/ cm2
Mantenimiento	    



➤ Pantalón INDURA ULTRA SOFT AT

Código	215115
Descripción	Prenda ignífuga, antiestática, para soldadores y de protección contra riesgo de exposición al Arco Eléctrico. Cierre botón y cremallera central Bolsillo lateral en cada pamera de acceso inclinado. Un bolsillo en trasero y en lateral de pamera derecha
Tejidos	Tejido ignífugo permanente durante toda la vida de la prenda* * Informe ensayo Autex Nº 2012C02167 Tras someter al tejido a 75 lavados y 75 secados industriales, s/ EN 15797 a 60 ° C éste sigue siendo ignífugo Test de fuego de acuerdo a EN 11612
Composición	87% Algodón , 12% Poliamida, 1% Fibra antiestática. 305 g/m².
Colores	Azul marino en stock. Colores s/ carta, bajo pedido
Tallas	Desde 36 a 66
Normativa	E.P.I. Categoría III. Real Decreto 1407/92. (Directiva 89/686/CEE). - EN 340: Ropa de protección. Requisitos generales. - EN 11612: Ropa de Protección contra el calor y la llama - EN 11611: Ropa de Protección para soldadores. Clase 1. - EN 1149-5: Ropa de protección con propiedades electrostáticas. <u>Protección Arco Eléctrico.</u> La prenda debe combinarse con camisa y/o cazadora Indura Ultra Soft AT - EN 61482 1-2: Arco eléctrico en caja. Clase 1 (4 kA) . - IEC 61482-1-1: Arco eléctrico abierto ATPV: Pantalón: 15 cal/cm2
Mantenimiento	    



7.7. Anexo VII. Catálogo de vestuario de protección frente a arco eléctrico en función de la energía calorífica.

4 - VENTAJAS DE LOS PRODUCTOS

TEJIDOS SELECCIONADOS

Tejidos Marko®

- Composición : 54 % modacrílico, 44 % algodón tratado FR y 2 % fibra antiestática
- excelente transpirabilidad
- muy flexible
- repele el agua

Tejidos Indura® UltraSoft®

- Composición : 88 % algodón, 12 % nylon de alta resistencia FR
- fibra técnica, intrínsecamente no propagadora de la llama (FR),
- garantía FR durante toda la vida útil de la prenda
- buena transpirabilidad
- una vida útil un 50 % más larga que una prenda 100 % algodón
- tacto muy suave

IDENTIFICACIÓN

→ marcado normativo claramente visible en la prenda con el nivel de ATPV



PROTECCIÓN

→ puños elásticos ajustables para las chaquetas



EFICACIA

→ cierre de cremallera no metálica + solapa



Confección cuidada, ergonomía eficaz y estilo estudiado para una protección sin fisuras.



→ **Fase 4 : Elegir y llevar EPI con resistencia térmica al arco,** (EPI de clase III : Riesgos irreversibles)

La elección de los equipos dependerá de :

- el valor de la corriente máxima de defecto
- la tensión nominal fase-tierra
- la distancia a la fuente del arco
- el tipo de circuito (monofásico o trifásico)
- el entorno donde se produzca el arco (espacio confinado...)

→ **Fase 5 : Respetar** las normas de seguridad pertinentes a fin de eliminar los daños provocados por el arco eléctrico.

... Y estará protegido contra los riesgos del arco eléctrico



Nota : La ropa de protección Arc-Flash es un equipo de protección contra los riesgos térmicos ocasionados por el arco eléctrico. En ningún caso son prendas aislantes.

GAMA DE 4-8 CAL/CM²

Trabajar con total seguridad

La gama de 4-8 cal/cm² está especialmente diseñada para trabajos de baja tensión (BT).

Parecido a la vestimenta tradicional de trabajo, este conjunto aporta confort en el trabajo diario al tiempo que evita los peligros del ARCO ELÉCTRICO.

Se recomienda llevar gafas protectoras y pasamontañas ignífugo (incluidos en el kit)



KIT DE PROTECCIÓN CONTRA ARCO ELÉCTRICO 4-8 CAL/CM²

TC42ESBB	Casco de electricista E-Shark blanco
TP05B	Gafas de seguridad monocristal, contra los infrarrojos y anti-UV
ARCCAG10	Pasamontañas ignífugo
VESTELEC	Chaqueta de electricista, ignífuga, antiestática
PANTAELEC	Pantalón de electricista, ignífugo, antiestático
TG30 à TG35	Guantes de LÁTEX aislantes BT clase 0, 360 mm de longitud
TG40 à TG48	Cubreguantes de cuero
C970	Botas de seguridad S3CI, sin elementos metálicos
S510	Bolsa de transporte del equipo ARC FLASH

Para cubrir mejor sus necesidades, tiene la posibilidad de elegir este kit con el combinación COMBIELEC en lugar del conjunto chaqueta-pantalón.

Aplicaciones recomendadas : BT

	<p>CASCO E-SHARK</p> <p>Referencia : TC42ESBR Normas : EN 397, EN 50365 para el casco y EN 166 para la pantalla Tallas disponibles : Talla única</p>	<p>+ Casco de protección con pantalla integrada que protege de los arcos eléctricos derivados de los cortocircuitos. Pantalla ergonómica que permite el uso de gafas. Pantalla abatible sin posición intermedia.</p>
	<p>PASAMONTAÑAS IGNÍFUGO</p> <p>Referencia : ARCCAGI 0 Tallas disponibles : Talla única</p>	<p>+ Pasamontañas ignífugo multicapa. Protege el rostro y el cuello de las quemaduras.</p>
	<p>CAMISA de electricidad, ignífuga, antiestática contra arcos eléctricos</p> <p>Referencia : CHEMSELEC Normas : EN 531, EN 1149-5 : 2008, EN 470 CEI 61482-1-2 clase 1 Tallas disponibles : S, M, L, XL, XXL</p>	<p>+ Tejidos : modacrílico / algodón tratado Camisa de manga larga. Incluye dos bolsillos superiores con solapa y cierre abotonado. Confortable y de fácil conservación.</p>
	<p>CHAQUETA Y PANTALÓN ignífuga y antiestática contra arcos eléctricos</p> <p>Referencia : VESTELEC y PANTAELC Normas : EN 531, EN 1149-5 : 2008, EN 470 CEI 61482-1-2 clase 1 y clase 2 Tallas disponibles : S, M, L, XL, XXL</p>	<p>+ Tejidos : modacrílico / algodón tratado en 250 g/m² 2 bolsillos en el pecho, cierre de corchetes con solapa de auto enganche. Pantalón ancho para facilitar los movimientos. Confortable y de fácil conservación.</p>
	<p>COMBINACIÓN ignífuga y antiestática contra arcos eléctricos</p> <p>Referencia : COMBIELEC Normas : EN 531, EN 1149-5 : 2008, EN 470; CEI 61482-1-2 clase 1 y clase 2 Tallas disponibles : L, XL</p>	<p>+ Tejidos : 63 % acrílico, 45 % algodón cardado, 2 % fibras elásticas en 250 g/m², 9 bolsillos, apertura con tira de velcro de 4 cm a lo largo, cintura elástica. Confortable y de fácil conservación.</p>
	<p>GUANTES DE LÁTEX aislantes BT, clase 0, 360 mm de longitud</p> <p>Referencia : TG30 a TG35 Normas : EN 60903 : 2003 y CEI 60903 : 2002 Tallas disponibles : de 8 a 11 Se entregan en una bolsa opaca con cierre</p>	<p>+ Revestimiento interior liso con acabado exterior también liso. Categoría RC. Tensión operativa : 1000 V CA</p>
	<p>CUBREGUANTES DE CUERO</p> <p>Referencia : TG40 a TG48 Normas : EN 420 y EN 388 Índices de resistencia mecánica : 2 a la abrasión - 1 al corte - 2 a los desgarros - 2 a la perforación Tallas disponibles : de 8 a 11</p>	<p>+ Cubreguantes para proteger los guantes aislantes de látex de los riesgos mecánicos. Cuero natural piel flor, corte americano, pulgares palmados, brida de ajuste en el puño, antebrazo rígido de 100 mm, costuras con hilo de poliéster y algodón.</p>
	<p>BOTAS de seguridad S3C, sin partes metálicas</p> <p>Referencia : C970 Normas : EN ISO 20344 y EN ISO 20345 Antideslizante : SRC Tallas disponibles : de la 37 a la 48</p>	<p>+ Suela en PU2D isotérmica, muy resistente a la hidrólisis y a los hidrocarburos, con perfil Parabolic® y ventana bi-densité®. Efecto resorte para una marcha más dinámica. Efecto antifatiga ya que alivia las articulaciones. Contiene ergonómica de policarbonato, 200 Julios. Separador antiperforación de 1250 N en fibras de alta resistencia.</p>

GAMA 8-12 CAL / CM²

El confort al servicio de la seguridad

La **gama 8-12 cal/cm²** le proporciona un nivel de protección adicional en sus trabajos de baja tensión al tiempo que mantiene un confort óptimo.

El busto puede protegerse de distintas maneras: con camisa, camiseta de manga larga o chaqueta o bien combinando estas prendas.

Se recomienda llevar gafas protectoras y pasamontañas ignífugo (incluidos en el kit)



KIT DE PROTECCIÓN CONTRA ARCO ELÉCTRICO 8-12 CAL/CM²

TC4710	Casco y pantalla facial ATPV 10,2 cal/cm ²
TP03T	Gafas de seguridad monocristal anti-UV
ARCCAG10	Pasamontañas ignífugo
ARCVES12	Chaqueta ARC FLASH, ATPV 12,4 cal/cm ²
ARCPAN12	Pantalón ARC FLASH, ATPV 12,4 cal/cm ²
TG30 à TG35	Guantes de látex aislantes BT, clase 0, 360 mm de longitud
TG40 à TG48	Cubreguantes de cuero
C970	Botas de seguridad S3CI, sin elementos metálicos
S510	Bolsa de transporte del equipo ARC FLASH

Para cubrir mejor sus necesidades, tiene la posibilidad de elegir este kit con el combinación ARCCOM12 en lugar del conjunto chaqueta-pantalón.

	<p>CASCO Y PANTALLA FACIAL ATPV 10,2 CAL/CM²</p> <p>Referencia : TC4710 Normas : ANSI Z89.1 para el casco y ANSI Z87.1 y ASTM F 2178 para la pantalla ATPV : 10,2 cal/cm² Tallas disponibles : Talla única</p> <p>+ Protege el rostro de los rayos UV e IR (infrarrojos). Visión panorámica rematada por un protector de barbilla.</p>
	<p>CAMISA ARC-FLASH ATPV 8,3 cal/cm²</p> <p>Referencia : ARCCFB Normas : NFPA 70E; ASTM F1506; ATPV : 8,3 cal/cm² Tallas disponibles : de la XS a la 6XL</p> <p>+ Tejido : Indura® UltraSoft® Nuevo estilo Easy fit para un ajuste confortable y un look urbano.</p>
	<p>CAMISETA ARC-FLASH ATPV 10,9 CAL/CM²</p> <p>Referencia : ARCTSM1.0 Normas : NFPA 70E; ASTM F1506; OSHA 29 CFR 1910.269; EN 631 - ATPV : 10,9 cal/cm² Tallas disponibles : de la S a la 6XL</p> <p>+ Tejido : Indura® UltraSoft® Toda la comodidad del algodón; fresco en verano y cálido en invierno. Prenda transpirable que absorbe el sudor.</p>
	<p>CONJUNTO ARC-FLASH ATPV 12,4 CAL/CM²</p> <p>Referencia : ARCVES1.2 para la chaqueta y ARCPAN1.2 para el pantalón Normas : NFPA 70E; NFPA 2112; NFPA 1977; ASTM F1506; OSHA 29 CFR 1910.269; EN 631; EN 470 Tallas disponibles : de la XS a la 6XL</p> <p>+ Conjunto chaqueta y pantalón. Prenda transpirable, ignífuga en Indura® UltraSoft®. También disponible en combinación y en versión 8,7 cal/cm²</p>
	<p>COMBINACIÓN ARC-FLASH ATPV 12,4 CAL/CM²</p> <p>Referencia : ARCCOM1.2 Normas : NFPA 70E; ASTM F1506; OSHA 29 CFR 1910.269; NFPA 1977; NFPA 2112; ISO 11612; ISO 11611; CGSB165.20; SANS 724 HAF : 80% Tallas disponibles : de la XS a la 6XL</p> <p>+ Tejido con resistencia permanente a las llamas, 906 g/m², cosido con hilo Nomex®. Cintura semielástica, 5 bolsillos.</p>
	<p>GUANTES DE LÁTEX aislantes BT, clase C, 380 mm de longitud</p> <p>Referencia : TG30 a TG35 Normas : EN 60903 : 2003 y CEI 60903 : 2002 Tallas disponibles : de 8 a 11 Se entregan en una bolsa opaca con cierre</p> <p>+ Revestimiento interior liso con acabado exterior también liso. Categoría RC. Tensión operativa : 1000 V CA</p>
	<p>CUBREGUANTES DE CUERO</p> <p>Referencia : TG40 a TG 48 Normas : EN 420 y EN 388 Índices de resistencia mecánica : 2 a la abrasión – 1 al corte – 2 a los desgarros – 2 a la perforación Tallas disponibles : de 8 a 11</p> <p>+ Cubreguantes para proteger los guantes aislantes de látex de los riesgos mecánicos. Cuero natural piel flor, corte americano, pulgares palmados, brida de ajuste en el puño, antebrazo rígido de 100 mm, costuras con hilo de poliéster y algodón.</p>
	<p>BOTAS de seguridad CS30, sin partes metálicas</p> <p>Referencia : C970 Normas : EN ISO 20344 y EN ISO 20345 Antideslizante : SRC Tallas disponibles : de la 37 a la 48</p> <p>+ Suela en PU2D isotérmica, muy resistente a la hidrólisis y a los hidrocarburos, con perfil Parabolic® y ventana bi-densité®. Ejeleto resorte para una marcha más dinámica. Efecto antifatiga ya que alivia las articulaciones. Contera ergonómica de policarbonato, 200 julios. Separador antiperforación de 1250 N en fibras de alta resistencia.</p>

GAMA 18-21 CAL / CM²

Protección al servicio de la eficacia

La **gama 18-21 cal / cm²** presenta un estilo ligero y moderno al tiempo que garantiza una eficaz protección contra los riesgos de los arcos eléctricos.

Se recomienda llevar gafas protectoras y pasamontañas ignífugo (incluidos en el kit)



KIT DE PROTECCIÓN CONTRA ARCO ELÉCTRICO 18-21 CAL/CM²

TC4710	Casco y pantalla facial ATPV 10,2 cal/cm ²
TP03T	Gafas de seguridad monocristal anti-UV
ARCCAG28	Pasamontañas ignífugo, ATPV 28,2 cal/cm ²
ARCVES21	Chaqueta ARC FLASH de cuello redondo, ATPV 21 cal/cm ²
ARCPAN18	Pantalón tipo vaquero, ATPV 18,3 cal/cm ²
TG36 à TG39	Guantes de látex aislantes MT, clase 2, 360 mm de longitud
TG40 à TG48	Cubreguantes de cuero
CHAUSS20KV	Bota de seguridad 20 KV
S510	Bolsa de transporte del equipo ARC FLASH

	<p>CASCO Y PANTALLA FACIAL, ATPV 10,2 CAL/CM²</p> <p>Referencia : TC4710 Normas : ANSI Z89.1 para el casco y ANSI Z87.1 y ASTM F-2178 para la pantalla ATPV : 10,2 cal/cm² Tallas disponibles : Talla única</p>	<p>+ Protege el rostro de los rayos UV e IR (infrarrojos). Visión panorámica rematada por un protector de barbilla.</p>
	<p>PASAMONTAÑAS ARC FLASH</p> <p>Referencia : ARCCAG28 Normas : ASTM F-1506, ASTM F-1959, OSHA 190.269 - ATPV : 28,2 cal/cm² Tallas disponibles : Talla única</p>	<p>+ Pasamontañas multicapa ignífuga. Protege el rostro y el cuello de las quemaduras.</p>
	<p>CHAQUETA ARC FLASH de cuello redondo, ATPV 21 CAL/CM²</p> <p>Referencia : ARCVES21 Normas : NFPA 70E; ASTM F1506, OSHA 29 CFR 1910.269; ISO 1161 ATPV : 21 cal/cm² Tallas disponibles : de la S a la 5XL</p>	<p>+ Tejido : ignífugo Indura® UltraSoft® Chaqueta con diseño actual, tacto muy suave, ultra confortable.</p>
	<p>SUDADERA ARC FLASH, ATPV 21,8 cal/cm²</p> <p>Referencia : ARCSWE21 Normas : NFPA 70E; ASTM F1506, OSHA 29 CFR 1910.269, EN581 - ATPV : 21,8 cal/cm² Tallas disponibles : de la XS a la 5XL</p>	<p>+ Toda la comodidad del algodón: fresco en verano y cálido en invierno. Prenda transpirable que absorbe el sudor.</p>
	<p>GUANTES DE LÁTEX aislantes clase 2, 350 mm de longitud</p> <p>Referencia : TG36 a TG39 Normas : EN 60 903 : 2003 y CEI 60 903 : 2002 Tallas disponibles : de 8 a 11 Se entregan en una bolsa opaca con cierre.</p>	<p>+ Guantes aislantes de electricista, confeccionados con LÁTEX natural, color beis, clase 2. Tensión de utilización : 17 000 V</p>
	<p>CUBREGUANTES DE CUERO</p> <p>Referencia : TG40 a TG 48 Normas : EN 420 y EN 388 Índices de resistencia mecánica : 2 a la abrasión - 1 al corte - 2 a los desgarros - 2 a la perforación Tallas disponibles : de 8 a 11</p>	<p>+ Cubreguantes para proteger los guantes aislantes de látex de los riesgos mecánicos. Cuero natural piel lora, corte americano, pulgares palmados, brida de ajuste en el puño, antebrazo rígido de 100 mm, costuras con hilo de poliéster y algodón.</p>
	<p>PANTALÓN TIPO VAQUERO, ATPV 18,3 cal/cm²</p> <p>Referencia : ARCPAN18 - Normas : NFPA 70E; ASTM F1506; OSHA 1910.269; NFPA 2112; ISO 11612 ASTM F262; SANS 724 : 2010 ATPV : 18,3 cal/cm² Tallas disponibles : de la S a la 5XL</p>	<p>+ Estilo informal, con corte estándar para un confort máximo.</p>
	<p>BOTAS DE SEGURIDAD 20 KV</p> <p>Referencia : CHAUSS 20KV Normas : EN ISO 20345 : 2007; ASTM F2412-05 : 2005 Sello S3 HRD, SRA (de resistencia antideslizamiento) Tallas disponibles : de la 38 a la 47</p>	<p>+ Suela en PU o nitrilo para una mejor resistencia a las altas temperaturas de contacto. Modelo confeccionado sin partes metálicas para reducir la conductividad térmica y la posible propagación del arco eléctrico.</p>

GAMA 51,5 CAL / CM²

Calidad al servicio de la seguridad

La **gama 51,5 cal / cm²** está pensada para ofrecer una protección integral a cada parte del cuerpo. Las uniones entre las distintas prendas se realizan con superposiciones.

Todas las partes del cuerpo permanecen protegidas incluso en movimiento.

Protección más ligera y eficaz que las soluciones de 40 cal/cm² actualmente en el mercado.



KIT DE PROTECCIÓN CONTRA ARCO ELÉCTRICO 51,5 CAL/CM²

ARCC0I51	Capuz ARC FLASH 51,5 cal/cm ²
ARCVES51	Chaqueta ARC FLASH 51,5 cal/cm ²
ARCSAL51	Peto ARC FLASH 51,5 cal/cm ²
ARCGAN51	Guantes ARC FLASH 51,5 cal/cm ²
CHAUSS20KV	Botas de seguridad 20 KV
S510	Bolsa de transporte del equipo ARC FLASH

Nota : Los guantes ARC FLASH no protegen de los riesgos eléctricos.



CAPUZ ARC FLASH 51,5 CAL/CM²

Referencia : AROCO051 - **Normas :** Tejido : NFPA 70E; ASTM F1506; NFPA 2112, NFPA 1977; IEC 61482-2; OSHA 1910.269; EN ISO 11611; EN ISO 11612; OEKO TEX STD. 100
Pantalla : ANSI Z87 : 1; EN16
Tallas disponibles : Talla única

+ Capuz textil completo con pantalla integrada y casco protector. ATPV de 51,5 cal/cm²

CONJUNTO ARC FLASH 51,5 CAL/CM²

Referencia : AROVES51 para la chaqueta y ARCSAL51 para el peto
Normas : NFPA 70E; ASTM F1506; EN 340; ASTM F2621; IEC 61482-2;
Tallas disponibles : de la S a la 3XL

+ Conjunto formado por una chaqueta larga y un peto para una protección máxima. Tejido: multicapa Indura® UltraSoft®

GUANTES ARC FLASH 51,5 CAL/CM²

Referencia : AROGAN51
Normas : NFPA 70E; ASTM F1506; NFPA 2112
ATPV : 51,5 cal/cm²
Tallas disponibles : L, XL

+ Guantes de tejido multicapa y 380 mm de longitud
Capa exterior : 440 g/m²
Capa interna : 237 g/m²

BOTAS DE SEGURIDAD 20 KV

Referencia : CHAUSS 20KV
Normas : EN ISO 20345 - 2007; ASTM F2412-05:2005 Sello S3 HRD, SPA (de resistencia antideslizamientos)
Tallas disponibles : de la 38 a la 47

+ Suela en PU o nitrilo para una mejor resistencia a las altas temperaturas de contacto. Modelo confeccionado sin partes metálicas para reducir la conductividad térmica y la posible propagación del arco eléctrico.

Para evitar al máximo el riesgo eléctrico, lo ofrecemos una gama de guantes aislantes adaptados a distintos usos.

GUANTES DE LÁTEX aislantes HTA, 360 mm de longitud y bordes recortados

Normas : EN 60903 : 2003 y CEI 60903 : 2002
Categoría CE : III Riesgos irreversibles

+ Revestimiento interior liso con acabado exterior también liso Categoría R-C-A-Z-C

Referencia	Clase	Tensión de utilización	Tallas disponibles	Categoría	Peso Medio
TG36 à TG38	Clase 2	17 000 V a.c.	8 à 11	R-C	440 g
TG22 à TG24	Clase 3	26 500 V a.c.	9 à 11	R-C	680 g
TG51 et TG52	Clase 4	36 000 V a.c.	10 et 11	A-Z-C	820 g

La oferta de estos guantes va asociada a la oferta del kit. Estos artículos deben solicitarse por separado.

GAMA 100 CAL / CM²

Equipo de alta seguridad

La **gama 100 cal / cm²** ofrece el máximo nivel de protección contra los riesgos del arco eléctrico.

Gracias a nuestros tejidos técnicos podemos ofrecerle el equipo más ligero del mercado.



KIT DE PROTECCIÓN CONTRA ARCO ELÉCTRICO 100 CAL / CM²

ARCCO1100	Capuz ARC FLASH 100 cal/cm ²
ARCVES100	Chaqueta ARC FLASH 100 cal/cm ²
ARCSAL100	Peto ARC FLASH 100 cal/cm ²
ARCGAN100	Guantes ARC FLASH 100 cal/cm ²
CHAUSS20KV	Botas de seguridad 20 KV
S510	Bolsa de transporte del equipo ARCO ELÉCTRICO

Nota : Los guantes ARCO ELÉCTRICO no protegen de los riesgos eléctricos.

CAPUZ ARC FLASH 100 CAL/CM²

Referencia : ARCC01100
 Normas : NFPA 70E : 2009; IEC 61482-2 : 2009
 ANSI Z87 : 1, EN 168; ASTM F2178
 Tallas disponibles : Talla única

+ Capuz protector completo formado por un casco de protección y una visera protectora amplia antivientos.

CONJUNTO ARC FLASH 100 CAL/CM²

Referencia : ARCVES100 para la chaqueta y ARCSAL100 para el peto - Normas : NFPA 70E:2009; IEC61482-2 : 2009; ASTM S-1505; EN 340; ASTM F2621 - ATPV : 100 cal/cm²
 Tallas disponibles : de la S a la XL

+ Conjunto de protección completo formado por una chaqueta larga y un peto.

GUANTES ARC FLASH 100 CAL/CM²

Referencia : ARCGAN100
 Normas : NFPA 70E : 2009; IEC61482-2 : 2009
 ATPV : 100 cal/cm²
 Tallas disponibles : de la S a la 3XL

+ Guantes de fibra aramida multicapa de 380 mm de longitud.

BOTAS DE SEGURIDAD 20 KV

Referencia : CHAUSS 20KV
 Normas : EN ISO 20345 : 2007; ASTM F2412-05 : 2005 Sello S3 HFO, SRA (pour la résistance à la glisse)
 Tallas disponibles : de la 38 a la 47

+ Suela en PU o nitrilo para una mejor resistencia a las altas temperaturas de contacto. Modelo confeccionado sin metales para reducir la conductividad térmica y la posible propagación del arco eléctrico.

Para evitar al máximo el riesgo eléctrico, le ofrecemos una gama de guantes aislantes adaptados a distintos usos.

GUANTES DE LÁTEX aislantes HTA, 360 mm de longitud y bordes recortados

Normas : EN 60903 : 2003 y CEI 60903 : 2002
 Categoría CE : III Riesgos irreversibles

+ Revestimiento interior liso con acabado exterior también liso Categoría R-C-A-Z-C

Referencia	Clase	Tensión de utilización	Tallas disponibles	Categoría	Peso medio
TG22 à TG24	Clase 3	26 500 V a.c.	9 à 11	R-C	680 g
TG51 et TG52	Clase 4	36 000 V a.c.	10 et 11	A-Z-C	820 g

La oferta de estos guantes va asociada a la oferta del kit. Estos artículos deben solicitarse por separado.