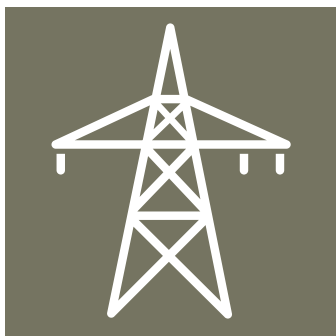
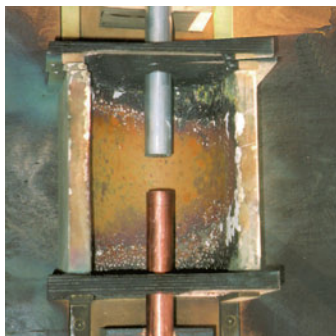


Guía para la selección de equipamiento de protección personal contra los efectos térmicos de un arco eléctrico



issa

INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ASSOCIATION

Comité para la *Electricidad*

Esta edición revisada de la guía ha sido elaborada por un grupo internacional de trabajo:

Holger Schau, Universidad Técnica Ilmenau, Alemania – Dirección

Jens Jühling, AISS, Comité para la Electricidad, Alemania

Hendrik Beier, STFI, Alemania

Jaroslav Bek, PRE A.S., República Checa

Mike Doherty, IHSA, Canadá

Bogumil Dudek, EPC S.A., Polonia

Helmut Eichinger, DuPont, Ginebra, Suiza

Jürgen Haase, Oficina de Ingeniería Haase, Alemania

Angel Pérez Herranz, UNESA, España

Hugh Hoagland, ArcWear, E.E.U.U.

Hocine Krizou, Hydro-Québec, Canadá

Nicole Lachmann, AISS, Comité para la Electricidad, Alemania

Helena Mäkinen, FIOH, Finlandia

Martin Mehlem, BG ETEM, Alemania

Joshua D. Moody, Westex Inc., E.E.U.U.

Paul Smith, ENA, Reino Unido

Hans-Peter Steimel, BG ETEM, Alemania

Christian Troger, AUVA, Austria

Dominique Vacher, EDF – DRVT, Francia

Zdenek Václavek, ČSZE, República Checa

2. edición 2011

ISBN 978-3-937824-10-9

Editor:

Asociación Internacional para la Seguridad Social

Comité Electricidad, Gas y Agua

c/o Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse

Gustav-Heinemann-Ufer 130, D-50968 Köln

Todos los derechos permanecen reservados al editor, también los derechos de reimpresión parcial, de reproducción fotomecánica y de traducción. Los derechos también se extienden a la copia y traslación de tramos aislados de texto mediante cualquier procedimiento de conservación y transferencia a papel, películas, cintas, placas y otros medios.

**Guía para la selección
de equipamiento de protección personal
contra los efectos térmicos
de un arco eléctrico**

Contenido

1	Prólogo	7
2	Qué es un arco eléctrico perturbador – Tipos de incidencias	9
3	Peligros de los arcos eléctricos perturbadores	11
	3.1 Efectos físicos y técnicos	11
	3.2 Efectos sobre el cuerpo humano	12
4	Parámetros térmicos del arco eléctrico y su determinación	14
	4.1 Parámetros principales del arco eléctrico	14
	4.2 Cálculo y medición de los parámetros térmicos de riesgo	15
5	Métodos estandarizados de ensayo para productos EPP contra los peligros térmicos de un arco eléctrico	16
	5.1 Aspectos generales	16
	5.2 Método de caracterización del arco (Arc-Rating-Test) según la norma CEI 61482-1-1	18
	5.3 Método de ensayo en caja (Box-Test) según la norma CEI 61482-1-2	20
6	Material textil y ropa de protección	24
	6.1 Requerimientos de protección térmica contra el arco eléctrico – norma CEI 61482-2	24
	6.2 Criterios de evaluación	25
	6.3 Inflamabilidad de textiles	27
	6.4 Recomendaciones para la selección del material	28
	6.5 Aseguramiento de la calidad	29
	6.6 Indicaciones para el uso y recomendaciones para la limpieza	30
7	Otros productos EPP: guantes, protección facial	32
8	Evaluación de riesgos y cálculo de los riesgos del arco eléctrico	34
	8.1 Selección del EPP y del método de ensayo para el EPP	34
	8.2 Determinación de la energía incidente para la elección del ATPV	36
	8.3 Cálculo de la energía prevista y la energía equivalente de un arco eléctrico para la selección de la clase de protección Box-Test	38
	8.4 Relación empírica entre ATPV y la clase de protección Box-Test	40
9	Índice de literatura	42

Anexo 1: Determinación de la potencia y la energía del arco eléctrico	44
Anexo 2: Parámetros térmicos del arco eléctrico – Definiciones y términos	47
Anexo 3: Informe de prueba de un ensayo Arc-Rating-Test – Determinación del ATPV para un ejemplo de material	51
Anexo 4: Informe de prueba de un ensayo Box-Test – Determinación de la clase de protección para un ejemplo de material	53
Anexo 5: Prueba de arco eléctrico para guantes y protectores faciales con el método de ensayo Box-Test	57
Anexo 6: Algoritmo para la calculación del riesgo de arco eléctrico para la selección de EPP que ha sido probado con el método de ensayo Box-Test	61
Anexo 7: Matriz de actividades laborales en instalaciones de baja tensión y los EPP que para ello se requieren	69
Símbolos empleados	71

1 Prólogo

Diariamente en todo el mundo se realizan trabajos electrotécnicos durante los cuales existe el peligro de surgimiento de un arco eléctrico causado por una acción errónea o por razones técnicas. La protección de las personas contra los efectos de un arco eléctrico debe efectuarse en diferentes formas. En primer lugar se encuentran las medidas técnicas en la instalación eléctrica como el diseño técnico y los dispositivos eléctricos de protección así como la creación de condiciones seguras de trabajo (desconexión de la tensión, cinco reglas de oro). Además es necesario entrenar y capacitar al personal. Sin embargo muchas veces no es posible eliminar totalmente el riesgo de que surja un arco eléctrico. Por esta razón se tienen que seleccionar equipamientos de protección personal (EPP).

Desde la primera publicación de este folleto en el año 2001 ha habido grandes avances. Entretanto las incidencias de un arco eléctrico pueden ser evaluadas con mayor precisión; las energías que aparecen durante un arco eléctrico pueden ser mejor estimadas. Bien es verdad que en una instalación eléctrica es difícil predecir la dirección que toma el arco eléctrico causado por el campo magnético que aparece después de un cortocircuito y la migración resultante del plasma y de las raíces del arco. Pero ahora hay un mejor conocimiento de los procesos.

Las consecuencias de un arco eléctrico son múltiples: efectos térmicos, carga eléctrica, ruido, emisiones de rayos ultravioletas, efectos de la presión y del reventamiento, las consecuencias de un choque físico y mental así como la influencia de sustancias tóxicas. Las normas y los métodos de ensayo sólo tratan los efectos térmicos. Este folleto también hace su enfoque sólo en los efectos térmicos porque ellos representan el mayor peligro para las personas.

No podrá existir un equipamiento de protección personal que proteja con absoluta seguridad, sin embargo tomando las medidas apropiadas se pueden reducir y a veces eliminar los efectos del arco eléctrico.

Si se hace necesario realizar trabajos en cercanía de piezas bajo tensión de una instalación eléctrica o realizar trabajos en tensión, la persona se encuentra en un área que no es accesible para la población común. En estos casos las medidas técnicas generales tienen que ser levantadas por un cierto período de tiempo para poder realizar el trabajo, p.ej. abrir las puertas o quitar las coberturas. Como estas actividades laborales son parte de trabajos de mantenimiento y reparación en una instalación eléctrica en un futuro tampoco se podrán descartar completamente los riesgos de un arco eléctrico.

Durante la evaluación de los riesgos también se deben tener en cuenta otros trabajadores que se encuentran en la cercanía del lugar de trabajo o que pudieran ser afectados de una manera u otra por un arco eléctrico.

1 Prólogo

Por encargo del Comité Electricidad de la AISS un grupo de trabajo analizó la situación actual y recopiló las últimas informaciones. Esta guía revisada incluye los nuevos conocimientos adquiridos desde la primera edición; se llevó a cabo una revisión completa.

Como importante mejora el folleto contiene ahora informaciones sobre la evaluación de riesgos y como emplear en la práctica los métodos estandarizados de ensayo. El grupo de trabajo informa sobre sus experiencias y la situación mejorada en la estandarización de los métodos de ensayo del arco eléctrico. Las consideraciones están basadas en métodos eficaces de ensayos del arco eléctrico para los EPP, los cuales han sido estandarizados internacionalmente y armonizados.

Esta guía sigue los requerimientos de la directiva de la UE sobre equipamientos de protección personal (89/686/CEE) [1]. A continuación los EPP se enfocan exclusivamente de acuerdo a esa directiva; todos los dispositivos en este folleto se deben considerar como EPP según el concepto de la Directiva EPP.

La guía debe servir como ayuda a los empresarios para cumplir sus obligaciones derivadas de la Directiva del Consejo 89/391/CEE sobre la introducción de medidas para el mejoramiento de la seguridad y de la protección de los trabajadores en el lugar de trabajo (Directiva para la protección en el trabajo).

2 Qué es un arco eléctrico perturbador – Tipos de incidencias

Un arco eléctrico es una descarga que se mantiene por si misma en una atmósfera gaseosa. Esta descarga se origina por la ionización del gas y produce un enlace eléctrico conductor entre electrodos de diferente potencial, con diferente relación de fases o entre una de estas fases y tierra. Un arco eléctrico en una instalación eléctrica es un acontecimiento involuntario; se habla de un arco eléctrico perturbador cuando un arco eléctrico originado en una instalación eléctrica o en un medio eléctrico de producción no se presenta de forma prevista sino que ocurre por un fallo. La causa es una falta técnica o – como se registra en la mayoría de los casos – un error humano. Casi todos los cortocircuitos en una instalación eléctrica están relacionados con la aparición de arcos eléctricos perturbadores en los que se liberan cantidades gigantescas de energía.

Los arcos eléctricos no aparecen sólo en cortocircuitos, sino también en acciones de desconexión o interrupción de circuitos eléctricos bajo corriente (fusibles, interruptores, cables, conexión de cables, puntos de fijación) si no se toman precauciones especiales. También estos arcos eléctricos de conexión pueden provocar arcos eléctricos perturbadores y ser peligrosos para las personas. Sin embargo las mayores energías se liberan en caso de arcos eléctricos por cortocircuito.

Mientras que en el sector de baja tensión se necesita antes de un cortocircuito galvánico para que se produzca un arco eléctrico, en el sector de alta tensión sólo el hecho de no mantener la correspondiente distancia de aire a las piezas que se encuentran bajo tensión es suficiente para el surgimiento de un arco eléctrico (descarga disruptiva o contorneo).

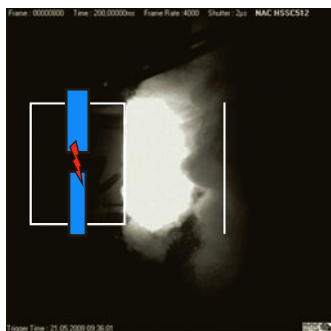


Fig. 2.1: Salida de una nube caliente de plasma y de gas en un arco eléctrico en una caja (fuente: Schau)

En dependencia del nivel de tensión, de la construcción de la instalación y de los trabajos que se llevan a cabo pueden surgir diferentes tipos de arcos eléctricos e incidir de forma diferente sobre una persona:

- arco eléctrico abierto – arco eléctrico en una instalación abierta; existe sobre todo peligro de radiación a partir de cierta distancia
- arco eléctrico dirigido – arco eléctrico en un área de volumen limitado; existe el peligro por la concentración y ampliación de los efectos que resultan de la radiación, la corriente de calor (convección) y las salpicaduras de metal (ver figura 2.1)
- arco eléctrico de expulsión – rayos de plasma son expulsados y afectan a personas
- arco eléctrico deslizante – arcos eléctricos que se producen en la superficie del cuerpo en asociación con una electrocución (la corriente fluye a través del cuerpo humano) en sistemas de alta tensión.

Debido a las energías extremadamente altas que aparecen con los arcos eléctricos perturbadores en caso de un cortocircuito existen altos riesgos de que las personas sean heridas, los medios de trabajo estropeados o destruidos y que se produzcan interrupciones en el abastecimiento de la corriente (apagones).

3 Peligros de los arcos eléctricos perturbadores

3.1 Efectos físicos y técnicos

En dependencia de la potencia y el tiempo de combustión el arco eléctrico puede provocar efectos físicos muy variados que resultan principalmente de la temperatura extremadamente alta en la columna del arco eléctrico. En un arco eléctrico se pueden alcanzar temperaturas por encima de los 5.000 °C. Durante la formación del arco eléctrico una parte del metal de los electrodos se evapora e ioniza. De esta forma se produce un enlace conductor entre los electrodos. Con el aumento del flujo de corriente sigue aumentando también la temperatura lo que conduce a la formación de un plasma entre los electrodos. Este plasma del arco emite radiación.

Un plasma se caracteriza por la ruptura de todos sus enlaces químicos y por el estado ionizado de sus elementos. Por esta razón esta nube de plasma posee una gran agresividad química. Con la evaporación del metal y el fuerte calentamiento posterior se produce una expansión de masas y una dilatación de gases que transporta vapores metálicos y salpicaduras metálicas en forma explosiva desde las raíces del arco eléctrico. Con el enfriamiento y la reacción con el oxígeno del aire se originan entonces óxidos metálicos que al seguir enfriándose se hacen visibles en forma de humo negro o gris. Mientras los vapores y el humo estén suficientemente calientes forman al depositarse sobre las superficies una contaminación muy adherente (ver figura 3.1).

Otro efecto físico inmediato durante la formación de un arco eléctrico es el gran aumento de presión que en un espacio de tiempo de 5 a 15 ms puede alcanzar un primer valor máximo de hasta 0,3 MPa. Esto equivale a una presión de 20 a 30 t/m². Si la **ola de presión** no puede extenderse sin impedimentos entonces la instalación eléctrica y la construcción que la rodea corren peligro de destrucción mecánica. Esto puede conducir al lanzamiento de puertas o recubrimientos, al reventamiento de chasis o al derrumbe de paredes interiores.

La radiación óptica, la corriente de calor convectiva del **flujo caliente de plasma y de gas** y los rayos de plasma, que aparecen en las raíces del arco eléctrico, conducen a exposiciones térmicas y a daños. En dependencia de la intensidad del arco eléctrico la fuerte corriente de calor enciende e inflama los materiales inflamables que se encuentran en los alrededores. Las salpicaduras líquidas de metal procedentes del arco eléctrico refuerzan el **peligro de incendio**.

3.2 Efectos sobre el cuerpo humano

De los efectos físicos anteriormente descritos se deriva que las personas que trabajan en la cercanía de piezas bajo tensión están expuestas a un mayor riesgo ya que durante esos trabajos las instalaciones están abiertas o son abiertas y por esta razón pueden ocurrir efectos directos.

Los mayores peligros de lesiones para las personas resultan de:

- Olas de presión, fuerzas que actúan sobre el cuerpo y astillas catapultadas que resultan del rápido calentamiento del gas que rodea al arco eléctrico
- Emisiones de sonido que constituyen un peligro para el oído
- Radiaciones electromagnéticas, sobre todo radiaciones ópticas de gran intensidad (luz visible, ultravioleta, infrarroja) que pueden conducir a daños irreversibles de la piel y los ojos
- Daños extremos por el calor debido a la radiación óptica, la nube de plasma caliente y el flujo de gas (corriente de calor)
- Gases tóxicos y partículas calientes que surgen durante la combustión y pirólisis de los materiales que se encuentran en los alrededores (incluyendo los electrodos).

Con el aumento súbito de la presión al encenderse el arco eléctrico se produce un **ruido de detonación** con niveles de presión acústica posiblemente mayores de 140 dB (no valorados) que pueden causar daños al oído humano.

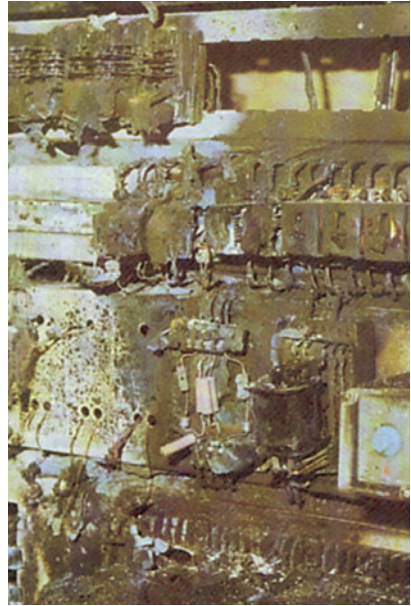


Fig. 3.1: Destrucciones en una instalación eléctrica después de un accidente con un arco eléctrico (fuente: Schau)

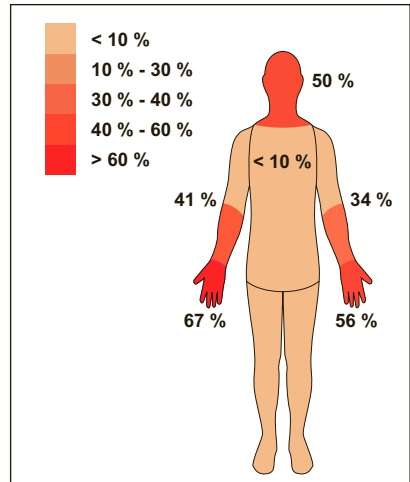


Fig. 3.2: Distribución de los daños térmicos

Las personas que se encuentran en la cercanía de un arco eléctrico están expuestas a un alto riesgo por los productos de descomposición tóxicos liberados durante el arco eléctrico. Éstos pueden conducir a efectos de quemadura dañinos para la piel y provocar también serios daños en los pulmones al ser inhalados.

El riesgo principal emana de los **peligros térmicos**. Al incendiarse las prendas de vestir y otros objetos que las personas llevan consigo se pueden producir lesiones graves. Independientemente del vestuario o del equipamiento de protección que un accidentado use cuando aparece el arco eléctrico también es de gran interés para el desarrollo de medidas preventivas la distribución de las quemaduras externas. El Instituto de Investigación de Accidentes Eléctricos (Alemania) realizó un estudio sobre esta temática. Fueron evaluados accidentes graves causados por arcos eléctricos en el sector de energía eléctrica en Alemania en el año 1998. En esta evaluación se incluyeron los documentos médicos de 61 casos. La valoración se basó en la distribución de los daños térmicos causados por el arco eléctrico en las distintas partes del cuerpo. Como daños fueron incluidas las quemaduras de primer grado o de grados mayores. El resultado se puede ver en la figura 3.2. Los accidentes por arcos eléctricos provocan sobre todo quemaduras en las manos y en la cabeza incluyendo el cuello. En más de las dos terceras partes de los accidentes ocurren quemaduras de la mano derecha y en casi la mitad de todos los accidentes quemaduras en la región facial y del cuello. Pero también los antebrazos son dañados frecuentemente (el derecho en un 41 % y el izquierdo en un 34 % de los casos). Las quemaduras de las otras partes del cuerpo ocupan un porcentaje menor del 10 %. Sin embargo consecuencias graves y hasta mortales son probables particularmente en caso de quemaduras de grandes superficies de la piel.

4 Parámetros térmicos del arco eléctrico y su determinación

4.1 Parámetros principales del arco eléctrico

Los efectos directos e indirectos de un arco eléctrico perturbador dependen principalmente de los siguientes factores:

- energía del arco eléctrico $W_{\text{arc}} = W_{\text{LB}}$
- potencia activa del arco $P_{\text{arc}} = P_{\text{LB}}$
- duración del arco eléctrico $t_{\text{arc}} = t_k$
- la distancia al arco eléctrico a .

La energía del arco eléctrico es un valor bien definido que clasifica claramente las condiciones específicas en un lugar de falla. Ella depende de los parámetros eléctricos del sistema de alimentación y de la construcción de la instalación eléctrica en cuestión.

En relación con los efectos térmicos del arco se debe también tener en cuenta la densidad de la energía recibida en la superficie afectada. Se trata de la energía incidente E_i . Puede tratarse de una energía incidente directa E_{i0} o, si actúa detrás del EPP, de una energía incidente transmitida E_{it} .

Por consiguiente los parámetros determinantes para el riesgo térmico del arco eléctrico son la potencia del arco, la energía del arco y la energía de incidencia.

La relación entre la energía del arco eléctrico y la energía eléctrica incidente es muy compleja y complicada. Existe en principio una proporcionalidad, sin embargo la función de transmisión f_T no es lineal:

$$E_i = f_T \cdot W_{\text{arc}} \text{ con } f_T = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6).$$

La función de transmisión f_T depende mayormente de los siguientes factores de influencia:

- x1 – distancia a al eje del arco eléctrico (aproximadamente inversamente proporcional al cuadrado)
- x2 – entorno espacial del arco eléctrico (abierto, caja (carcasa), paredes, ...)
- x3 – configuración de los electrodos (vertical, horizontal, barreras, bipolar/tripolar)
- x4 – separación entre los electrodos d
- x5 – material de los electrodos
- x6 – nivel de tensión y de corriente del sistema eléctrico (red).

Estas variables determinan que tipo de arco eléctrico se origina y representan las condiciones de transmisión del calor.

Otras definiciones y términos importantes se encuentran en el anexo 2.

4.2 Cálculo y medición de los parámetros térmicos de riesgo

En los métodos estandarizados de ensayo de arco eléctrico se emplean calorímetros de cobre para medir la energía incidente. Esta energía E_i es proporcional al valor máximo del transcurso de la temperatura dT_{max} (valor máximo del aumento de la temperatura) del disco definido de cobre del calorímetro (ver figura 4.1):

$$E_i = \frac{m \cdot C_p}{A} \cdot dT_{max}$$

con

- m – masa del disco de cobre del calorímetro
- A – superficie del disco de cobre del calorímetro
- C_p – capacidad térmica específica del cobre
- dT_{max} – valor máximo del aumento de temperatura del calorímetro.

El valor máximo del aumento de temperatura es la diferencia entre la temperatura máxima que aparece en el tiempo de exposición con una duración de 30 segundos y la temperatura inicial del sensor.

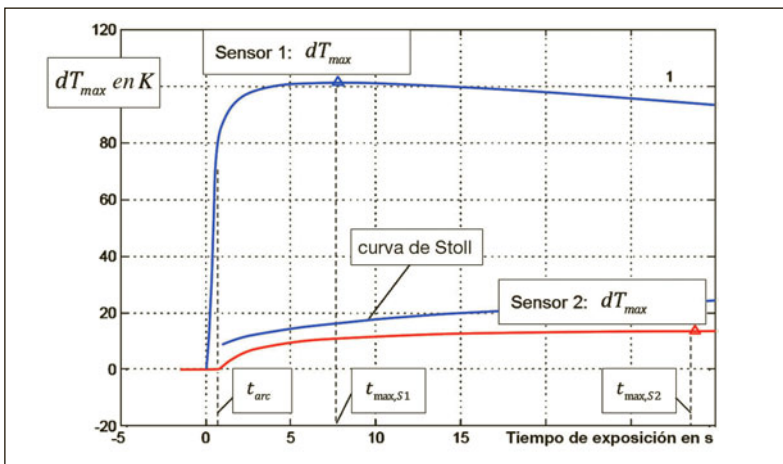


Fig. 4.1: Transcurso del aumento de temperatura durante un ensayo de arco eléctrico (ejemplo donde el sensor 1 está directamente expuesto y el sensor 2 se encuentra detrás de un EPP).

5 Métodos estandarizados de ensayo para productos EPP contra los peligros térmicos de un arco eléctrico

5.1 Aspectos generales

La base fundamental para la valoración y la selección del EPP para su uso práctico son los ensayos reproducibles del producto. En esos ensayos se deben demostrar la resistencia así como el efecto de protección del EPP contra los efectos térmicos de un arco eléctrico perturbador (ver figura 5.1).

El EPP aprobado tiene que cumplir estos dos requisitos relacionados con los riesgos del arco eléctrico. En el pasado las consideraciones sobre la protección y los métodos de ensayo se concentraban solamente en la resistencia a las llamas y probaban que el EPP no agravaba los efectos del arco eléctrico. Es muy importante que el EPP posea propiedades retardantes de la llama pero esto sin embargo no es suficiente. Los componentes del EPP, tales como materiales textiles, prendas de vestir, guantes y viseras tienen también que reducir la energía incidente a un grado no peligroso. Por consiguiente se necesita ensayos de productos y sistemas en los que se mida la energía incidente.



Fig. 5.1: Maniquí de ensayo con una chaqueta que ha sido expuesto a un ensayo en caja (Box-Test)

Actualmente existen dos métodos estandarizados de ensayos para textiles y prendas de vestir que cumplen con los requisitos arriba descritos:

- el ensayo de determinación de la característica del arco (Arc-Rating-Test) según la norma CEI o EN 61482-1-1 [3] y
- el ensayo en caja (Box-Test) según la norma CEI o EN 61482-1-2 [4].

Ambos métodos de ensayo emplean diferentes montajes de ensayo, configuraciones y tipos de arco eléctrico, parámetros de ensayo, procedimientos de ensayo y pará-

metros de resultado. Los resultados no son comparables físicamente ni pueden ser transformados unos en otros matemáticamente. El EPP tiene que ser valorado y seleccionado sólo de acuerdo a uno de los dos métodos, o sea, los métodos no deben combinarse.

	CEI 61482-1-1	CEI 61482-1-2
Montaje	Arco eléctrico largo y abierto	Arco eléctrico en una caja
Energía de ensayo	Se cambia gradualmente mediante el ajuste de la duración del arco eléctrico manteniendo constante la corriente de ensayo	Constante, dos posibles niveles (clases)
Transmisión del calor	En todas las direcciones: principalmente radiación	Focusada: Radiación, convección, salpicaduras de metal
Resultado del ensayo	Parámetro del arco eléctrico (ATPV o E_{BT50})	Clase de protección contra el arco eléctrico: sí/no

Tab. 5.1: Detalles de los dos métodos estandarizados de ensayo de uso opcional

Lo importante es que de los ensayos resulten los valores de energía hasta los que un EPP resiste y protege. En el pasado productores y clientes comparaban los materiales y las prendas de vestir comprobados a menudo sólo sobre la base de la corriente prospectiva (8 kA en el ensayo con ATPV y 4 kA ó 7 kA en el ensayo en caja) y consideraban su aplicación sin tener en cuenta los otros factores importantes del montaje de ensayo que también determinan el nivel de energía del ensayo (o sea, los niveles de exposición y por lo tanto los niveles de protección).

En el método de ensayo según la norma CEI 61482-1-1 (métodos A y B) [3] se determina un valor cuantitativo que caracteriza las propiedades de protección térmica del material o la prenda de vestir: el valor de rendimiento térmico ante un arco (Arc Thermal Performance Value – ATPV) o la energía de rotura (Break Open Energy – E_{BT50}). Estos valores (parámetros del material) permiten una comparación directa de diferentes materiales. También es posible comparar este valor con la energía incidente prevista de un accidente de arco eléctrico en un ambiente concreto de trabajo basándose en la información obtenida de los procedimientos de evaluación de riesgos de este ambiente (p.ej. según IEEE 1584 o NFPA 70E, ver capítulo 8).

5 Métodos estandarizados de ensayo para productos EPP contra los peligros térmicos de un arco eléctrico

El material o la prenda de vestir que supera el ensayo en caja según la norma CEI 61482-1-2, con parámetros constantes de ensayo, protege por lo menos hasta un valor de energía que corresponde al nivel de ensayo de la clase de arco eléctrico respectiva. El nivel de protección real puede ser mayor y actuar también cuando inciden energías superiores. Los parámetros de ensayo (p.ej. corriente de ensayo) no representan por lo general los límites de empleo del EPP. Una protección fiable está dada mientras que por la tensión de la red, la corriente de cortocircuito, la duración del arco eléctrico y la distancia de exposición no se sobrepase el nivel de protección de la clase de arco eléctrico. La clase de arco eléctrico necesaria tiene que ser determinada mediante un análisis de riesgos. Para ello se deben emplear procedimientos diferentes a los arriba descritos ya que se deben encontrar los respectivos niveles de energía del arco eléctrico (ver capítulo 8).

5.2 Método de caracterización del arco (Arc-Rating-Test) según la norma CEI 61482-1-1

Realización del ensayo

Este ensayo se realiza con materiales textiles resistentes a las llamas que están previstos para ser usados en prendas de vestir para la protección contra los efectos momentáneos del arco eléctrico. La disposición del ensayo consiste en dos electrodos de varilla instalados verticalmente (electrodos de acero inoxidable) situados a una distancia d de 300 mm uno del otro, en la cual se enciende un arco eléctrico. El material a ensayar se coloca sobre tres placas portadoras de muestras que se encuentran posicionadas a una distancia de 300 mm del eje longitudinal de los electrodos y desplazadas en un ángulo de 120° respectivamente. Cada placa portadora de muestra tiene un tamaño mínimo de 550 mm x 200 mm (altura x ancho) y está provista de dos calorímetros de cobre electrolítico. La disposición del ensayo permite la formación ininterrumpida del arco eléctrico así como su expansión en todas las direcciones (ver figura 5.2).

Antes de comenzar el ensayo las muestras deben ser lavadas cinco veces según ISO



Fig. 5.2: Disposición del ensayo para el método de ensayo Arc-Rating-Test (con la distribución de los electrodos, las placas portadoras de muestras y los calorímetros a su alrededor)

6330 método 2A, incluyendo secado según procedimiento E (secadora) o lavadas de acuerdo a las indicaciones del productor.

Las muestras del material son extendidas con tirantez sobre las tres placas que están instaladas verticalmente lo que posibilita tres ensayos simultáneos por „tiro“ de arco eléctrico. Las muestras deben estar fijadas de tal forma que estén en contacto con las placas de ensayo. Estas placas están provistas de calorímetros de cobre los cuales quedan cubiertos por las muestras del tejido. Con la ayuda de éstos se mide directamente la energía transmitida sobre la base del aumento de temperatura. Los calorímetros adicionales de igual tipo que se encuentran posicionados fuera del área cubierta con las muestras sirven para la medición directa de la energía incidente. Con la ayuda de un software especial es posible grabar los datos de temperatura después del encendido del arco eléctrico por un período de tiempo de 30 segundos.

Para garantizar suficiente seguridad estadística este método de ensayo requiere 20 valores de prueba. Con cada „tiro“ se obtienen valores de tres muestras, lo que significa que una serie de ensayo debe constar por lo menos de siete tiros de arco eléctrico (pasos de prueba). Para ello se modifica el nivel de la energía incidente directa entre paso y paso de prueba mediante el ajuste de diferentes valores de duración del arco eléctrico mientras que la corriente de prueba de 8 kA permanece constante. La variación de la duración del arco eléctrico afecta directamente a la energía incidente. Las energías incidentes resultantes de las exposiciones de las muestras deberían causar una distribución de los aumentos de temperatura registrados tanto por encima como por debajo de la curva de Stoll.

El voltaje de suministro de energía eléctrica debe garantizar la existencia de un arco eléctrico hasta una distancia de 305 mm entre los electrodos. En la práctica presupone una fuente de energía eléctrica en el sector de media tensión (p.ej. 3 kV o mayor). Esta fuente de tensión garantiza el encendido y la estabilidad del arco eléctrico durante todo el tiempo de duración de la prueba.

Mediciones del ensayo

Este método de ensayo emplea un modelo logístico de regresión para determinar los parámetros de arco eléctrico para materiales y prendas de vestir. Estos parámetros (ATPV o E_{BT50}) se indican en kJ/m^2 (o cal/cm^2). El valor de protección térmica contra arco eléctrico ATPV de un material es la energía incidente que actúa sobre un material o un sistema multicapas de materiales con un 50 % de probabilidad que suficiente cantidad de calor traspase la muestra en cuestión provocando el comienzo de una quemadura de segundo grado según la curva de Stoll, sin que aparezca una rotura en el material. En el anexo 3 se muestra un informe de ensayo como ejemplo.

Si un material o sistema de materiales muestra huecos u orificios durante el ensayo que permiten que el sujetador de la muestra o una capa interior inflamable estén

5 Métodos estandarizados de ensayo para productos EPP contra los peligros térmicos de un arco eléctrico

expuestos al arco eléctrico se habla de una rotura. Si durante el ensayo se observa una rotura se realiza un análisis de la rotura utilizando la logística de regresión en la misma manera como en la determinación del parámetro ATPV. Si el 50 % de probabilidad de rotura del material (E_{BT50}) ocurre con una energía por debajo del ATPV entonces se tiene que tomar el valor E_{BT50} como parámetro de arco eléctrico.

Adicionalmente el método de ensayo mide el factor de atenuación del calor (Heat Attenuation Factor – HAF). El HAF indica el porcentaje de energía que es bloqueada por el material o sistema de materiales.

Empleo de los resultados del ensayo

El método de ensayo suministra las propiedades de los materiales comprobados en relación con la transmisión de calor y posibilita una fácil comparación de los materiales. Los valores de protección contra el arco eléctrico pueden ser usados para la selección de la ropa de protección apropiada según la estimación del riesgo.

5.3 Método de ensayo en caja (Box-Test) según la norma CEI 61482-1-2

Realización del ensayo

En el ensayo en caja [4] se califican la resistencia al arco y el efecto de protección contra el arco para dos clases diferentes de protección. Un arco eléctrico es encendido en un circuito de ensayo con 400 V corriente alterna (AC) entre dos electrodos posicionados verticalmente que están rodeados de una caja especial hecha de yeso (ver figura 5.3).

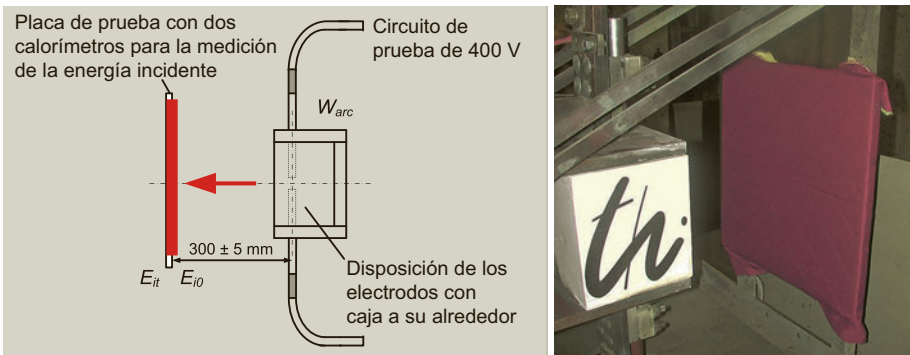


Fig. 5.3: Montaje del ensayo en caja para la prueba de material textil para ropa de protección: esquema (izquierda) y en el laboratorio de ensayo (derecha, ángulo visual opuesto)

Mediciones del ensayo

Las clases de arco eléctrico se caracterizan por distintos niveles de la energía del arco eléctrico y de la energía incidente que de ella resulta. En la tabla 5.2 se encuentran un resumen de ellas. La energía incidente es el nivel de exposición que resulta a una distancia $a = 300$ mm al eje perpendicular del arco.

Para la medición de la energía incidente se emplean dos calorímetros. Antes de una serie de pruebas se mide la energía incidente directa E_{i0} sin muestra para validar la disposición del ensayo (validez de las condiciones de ensayo). Durante la serie de pruebas los calorímetros miden detrás de la muestra la energía incidente transmitida E_{it} .

	$W_{arcP} = W_{LBP}$ en kJ	E_{i0} en kJ/m ²
Clase 1	158	135
Clase 2	318	423

Tab. 5.2: Niveles de energía de ensayo para clases de protección contra el arco eléctrico

En este método de ensayo se diferencia para la evaluación del producto y la certificación entre prueba de materiales y prueba de prendas de vestir. El método de ensayo en caja para materiales se emplea para determinar y medir el comportamiento de materiales textiles bajo la acción de un arco eléctrico en una disposición plana. La medición cuantitativa de las propiedades térmicas de protección contra el arco eléctrico se hace por medio de la energía transmitida E_{it} que traspasa el material. Las pruebas se realizan según los criterios de la tabla 5.3.

Parámetros	Criterio
Postcombustión	≤ 5 s
Fusión	No hay derretimiento hasta la parte interior
Formación de huecos	No hay huecos mayores de 5 mm en ninguna dirección (en la capa más interior)
Corriente de calor	Los ocho pares de valores ($E_{it} - t_{max}$) de los dos calorímetros para 4 de 5 „tiros“ en una prueba (serie) se encuentran todos por debajo de la correspondiente curva de STOLL

Tab. 5.3: Criterios para la aprobación del ensayo

Resultados del ensayo

El resultado final del ensayo es la categorización de la muestra en una clase de arco eléctrico (certificación de que la prueba ha sido aprobada bajo las condiciones de ensayo de la correspondiente clase). La prueba constata que la muestra cumple (o no cumple) con los requisitos de la clase en cuestión según las condiciones de ensayo ajustadas. La prueba ha sido aprobada cuando se cumplen todos los criterios mencionados en la tabla 5.3. Para un proceso completo de prueba el material tiene que haber aprobado cuatro de los cinco ensayos realizados en una serie de cinco arcos eléctricos encendidos bajo idénticas condiciones („tiros“ de arco eléctrico).

La figura 5.4 muestra como ejemplo el resultado de un ensayo de material de un sistema de materiales de dos capas de un tejido con un peso total de superficie de 460 g/m². El material ha aprobado el ensayo en caja para la clase 2. En el anexo 4 se puede encontrar el informe completo de ensayo elaborado por un laboratorio certificado de ensayos para otro material textil que ha aprobado el ensayo en caja para la clase 1. Aquí se trata del mismo material empleado para el ensayo Arc-Rating-Test del ejemplo en el anexo 3.

La prueba de ropa con el ensayo en caja se emplea para valorar el comportamiento, la efectividad y la función de prendas de vestir después de haber sido expuestas a un arco eléctrico incluyendo todos sus componentes, hilo de coser, cierres y otras accesorios, sin que se mida la corriente de calor. El material textil de la ropa tiene que haber aprobado antes el ensayo de material en caja y la prenda de vestir tiene que cumplir con los criterios de postcombustión, fusión y formación de huecos según la tabla 5.3. Los cierres tienen que estar aptos para el funcionamiento después del ensayo. Los accesorios no deben tener efectos negativos sobre los resultados de la postcombustión, el comportamiento de fusión y la formación de huecos. La energía incidente no se mide debido a la influencia del diseño de la prenda (p.ej. bolsillos, solapas, etc.).

Empleo de los resultados del ensayo

La clase de protección contra el arco eléctrico de un EPP tiene que ser definida por medio de una evaluación de riesgos. Para ello se determina el valor previsto de la energía del arco eléctrico y el nivel de protección de la energía del arco para el ambiente específico de trabajo (ver capítulo 8). En el ensayo en caja el EPP es expuesto, además de a la radiación, también al efecto del calor mediante convección (nube de plasma y de gas) y a salpicaduras de metal (los electrodos son de aluminio y cobre). Por lo tanto el EPP probado también posee efecto de protección contra las influencias dinámicas y térmicas de acuerdo al nivel de energía.

5 Métodos estandarizados de ensayo para productos EPP contra los peligros térmicos de un arco eléctrico

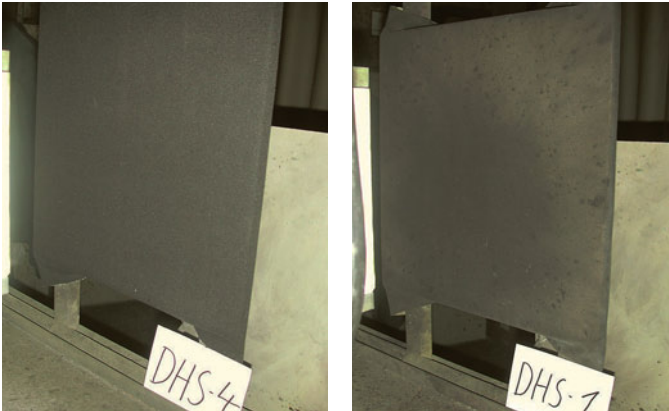
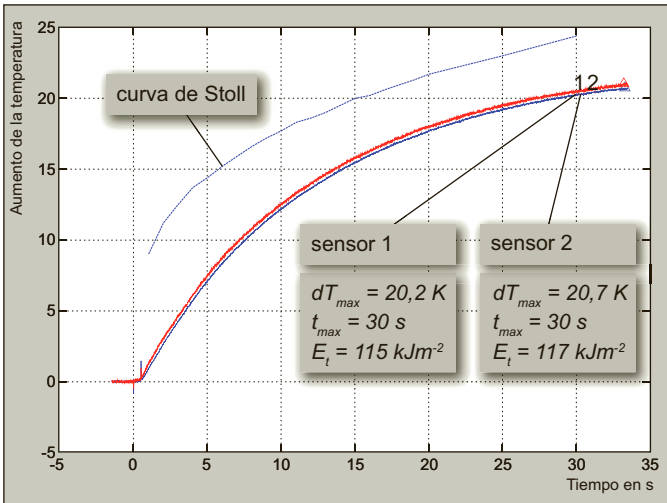


Fig. 5.4: Resultado de medición de un ensayo en caja para la clase 2 de un sistema de materiales textiles de dos capas (arriba) y las muestras antes (a la izquierda abajo) y después del ensayo (a la derecha abajo)

6 Material textil y ropa de protección

6.1 Requerimientos de protección térmica contra el arco eléctrico – norma CEI 61482-2

Los arcos eléctricos perturbadores pueden aparecer particularmente durante trabajos electrotécnicos con o en la cercanía de piezas bajo tensión y representan un riesgo general para los trabajadores. La ropa de protección de acuerdo a la norma CEI 61482-2 [5] disminuye los peligros térmicos de los arcos eléctricos perturbadores y contribuye a la protección de los trabajadores contra esos riesgos.

La norma de productos CEI 61482-2 especifica los requerimientos y los métodos de ensayo para materiales y prendas de vestir que se emplean como equipamiento de protección contra los riesgos térmicos de los arcos eléctricos perturbadores y establece

- las propiedades generales relevantes de los tejidos textiles que deben ser probados con el método de ensayo seleccionado para tejidos textiles, y
- las propiedades térmicas de resistencia contra el arco eléctrico, tales como
 - los parámetros de arco eléctrico del material según la norma CEI 61482-1-1, o
 - la clase de protección contra el arco eléctrico del material y de la prenda de vestir (clase 1 ó clase 2) según la norma CEI 61482-1-2.

Los requerimientos no se refieren a los riesgos de un choque eléctrico. Sin embargo esta norma puede aplicarse junto con aquellas normas que abarcan estos peligros. La norma no contiene requerimientos para la protección de cabeza, manos y pies.

Materiales textiles y prendas de ropa que satisfacen las exigencias de la norma de productos CEI 61482-2 han sido probados en un procedimiento de ensayo en el que se ha utilizado un arco eléctrico real como fuente de calor. El plasma y gas calientes dentro y en los alrededores de la columna del arco eléctrico son la causa de la corriente de calor y, por consiguiente, de los efectos térmicos. Los detalles sobre la transmisión del calor y las disposiciones de ensayo según las normas CEI 61482-1-1 y CEI 61482-1-2 se encuentran en el capítulo 5.

La norma CEI 61482-2 se refiere a ropa de protección contra el arco eléctrico en general, independientemente del nivel de tensión, si bien los procedimientos de ensayo transcurren con tensiones de ensayo exactamente definidas. El modo y la intensidad de la transmisión del calor se diferencian en arcos eléctricos en instalaciones de baja, media y alta tensión sólo en determinada medida. La potencia eléctrica y la duración del arco eléctrico son los factores primarios de influencia y

caracterizan la fuente de calor. La ropa que resiste la energía incidente de la disposición del ensayo tendrá un efecto protector térmico similar contra el arco eléctrico en instalaciones de baja, media y alta tensión.

6.2 Criterios de evaluación

Inflamabilidad y propagación de la llama

Las prendas de vestir destinadas a proteger contra los efectos térmicos de un arco eléctrico no deben agravar el riesgo por inflamabilidad. Por lo tanto todos aquellos tejidos textiles que supuestamente cumplen con la norma 61482-2 deben poseer un índice específico de propagación de llamas (Flame Spread Index – FSI) según ISO 15025 Procedimiento A y estar clasificados según ISO 14116. Con ésto se garantiza que después de un contacto directo con la llama durante 10 segundos el material no presenta residuos de combustión ni las llamas han llegado a los bordes superior o laterales de la muestra. También queda excluida la extensión de una posible incandescencia al área no dañada.

Para prendas de vestir de una sola capa el material tiene que cumplir el índice de propagación de llamas (FSI) 3. Ésto significa que además de los requerimientos arriba mencionados la formación de huecos está descartada y el tiempo de post-combustión está por debajo de 2 segundos.

Para prendas de vestir de varias capas

- la capa externa y la más interna tienen que poseer un FSI 3,
- todas las capas intermedias tienen que poseer un FSI 1.

Todas las costuras principales tienen que mostrar un comportamiento satisfactorio de retardación de la llama. Para ello todos los hilos usados para esas costuras tienen que haber sido probados según la norma ISO 17493 con una temperatura de 260 °C. Además ni los accesorios ni los cierres usados en la ropa deben contribuir a agravar las heridas del portador en caso de un arco eléctrico momentáneo. En general todas las piezas de la prenda de vestir deben estar elaboradas con materiales resistentes a los efectos térmicos de un arco.

Resistencia al desgarre progresivo y cambio dimensional

Además del comportamiento retardante de llama existen otras propiedades generales de los materiales textiles que son relevantes para el usuario por razones de seguridad y durabilidad. Por esta razón la norma define requerimientos mínimos para los materiales externos de la prenda de vestir.

Los tejidos exteriores tienen que mostrar en la correspondiente prueba según ISO 13937-2 una resistencia al desgarre progresivo no menor de 15 N (para un peso mayor de 220 g/m²) o de 10 N (para un peso entre 150 g/m² y 220 g/m²). La resistencia a la tracción según ISO 13934-1 tiene que tener un valor de 400 N como mínimo (para un peso mayor de 220 g/m²) o de 250 N (para un peso entre 150 g/m² y 220 g/m²). Para tejidos de punto, p.ej. camiseta polo o jersey, estos procedimientos no pueden ser usados, aquí la resistencia a la rotura según ISO 13938-1 tiene que alcanzar un valor de 200 kPa como mínimo.

Para garantizar que la prenda pueda seguir siendo usada después del procedimiento de limpieza/lavado definido por el productor también se ha especificado la estabilidad dimensional del material externo. En concordancia con ISO 5077 el cambio dimensional máximo que puede experimentar el tejido exterior es de $\pm 3\%$ en la dirección de urdimbre y en la de trama; en los tejidos de punto el cambio dimensional máximo es de $\pm 5\%$.

Resistencia térmica al arco eléctrico

Dado que la ropa de protección tiene que poseer ciertas propiedades protectoras ante los efectos térmicos de un arco eléctrico según la norma CEI 61482-2 el requerimiento más importante al material es el comportamiento térmico durante la exposición a un arco eléctrico. Para cumplir con la norma una muestra tiene que aprobar el ensayo según CEI 61482-1-1 y/o según CEI 61482-1-2. Los dos métodos internacionales de ensayo descritos en el capítulo 5 ofrecen de distinta manera informaciones sobre el efecto protector de la ropa frente a un arco eléctrico. En dependencia de sus necesidades el usuario se decidirá por uno de los dos métodos de ensayo. Se deben realizar pruebas del material y también de la prenda de vestir. Para la certificación de las prendas de vestir tanto el material como la prenda de vestir tienen que cumplir con los requerimientos.

Cuando se prueba de acuerdo a la norma CEI 61482-1-1 a la ropa de protección se le asigna el correspondiente ATPV del material del cual está elaborada. Una ropa de protección debe poseer por lo menos un ATPV de 167,5 kJ/m² (4 cal/cm²). Mientras mayor sea el ATPV mejor protegerá el equipamiento contra arcos eléctricos perturbadores con energías de incidencias más altas (mayores valores de corrientes, mayor tiempo de exposición al arco eléctrico). Cuando un ATPV no puede ser determinado entonces se determina el parámetro E_{BT50} y se le asigna al material. El valor mínimo de E_{BT50} también debe ser 167.5 kJ/m² (4 cal/cm²).

Cuando se prueba de acuerdo a la norma CEI 61482-1-2 a la ropa de protección elaborada del material anteriormente probado se le asigna la clase de protección 1 ó 2 en dependencia de las condiciones del ensayo y de los resultados de la protección térmica contra el arco eléctrico. La ropa de protección tiene que poseer como

mínimo la clase de protección 1; la clase 2 indica una mayor resistencia térmica cuando inciden energías más altas durante un arco eléctrico.

Junto a los requerimientos relacionados con el tejido la norma CEI 61482-2 regula también aspectos importantes de seguridad para la ropa. Cada prenda de vestir destinada a proteger el tronco tiene que tener mangas largas y no se permiten que queden expuestas piezas metálicas externas. El cuerpo del trabajador debe estar protegido completamente.

Si por razones de comodidad la prenda de vestir estuviese elaborada por delante y por detrás (frente y espalda) de materiales con diferentes propiedades de protección contra el arco eléctrico se debe especificar exactamente la posición del área que ofrece menos protección. Ésto se puede lograr, p.ej., mediante un esquema dimensionado de la prenda y una indicación de advertencia en las instrucciones de uso. Se debe tener en cuenta que estas prendas de vestir en todas sus áreas deben cumplir por lo menos con los requerimientos de la clase de protección 1 según la norma CEI 61482-1-2 o poseer un ATPV mínimo de 167,5 kJ/m² (4 cal/cm²) según la norma CEI 61482-1-1. La parte frontal de la prenda y las mangas en su totalidad (alrededor y en toda la longitud de los brazos) tienen que mostrar el mismo efecto de protección.

Sin embargo el usuario debe considerar que la aplicación de la norma CEI 61482-2 no es obligatoria. Especialmente en Europa donde los requerimientos básicos relacionados con la protección de los trabajadores para cualquier tipo de EPP están reglamentados en la Directiva 89/686/CEE el cumplimiento de la norma no significa automáticamente la conformidad con la directiva. No obstante mientras no esté a la disposición otra evaluación alternativa los requerimientos estipulados en la norma CEI 61482-2 se pueden considerar como la opción más adecuada.

6.3 Inflamabilidad de los tejidos

Es necesario enfatizar que todos los tejidos, tanto naturales como químicos, pueden quemarse hasta cierto punto. Por eso en la normalización se emplea el término „resistente a la llama“. Los materiales son caracterizados especialmente por el modo en que reaccionan después de haber sido expuestos a las llamas. La eficacia protectora de un material consiste por un lado en el aislamiento que ofrece al usuario ante la exposición a la energía térmica incidente y por otro lado en la más rápida posible extinción de las áreas del material que se incendian durante la aplicación de la llama (tiempo de postcombustión). Por último la persona a proteger no debe ser dañada adicionalmente por el material empleado en la elaboración de la ropa. Sin embargo la ropa de protección no puede ofrecer una protección absoluta contra cada uno de los efectos de un arco eléctrico perturbador. Una prenda especial de ropa siempre protegerá hasta un determinado grado.

6.4 Recomendaciones para la elección del material

La ropa de trabajo de material resistente a la llama debe ser llevada en principio siempre que en el puesto de trabajo pueda surgir un arco eléctrico perturbador.

El nivel apropiado de la ropa de protección debe ser seleccionado sobre la base de una evaluación de riesgos (ver capítulo 8) y del conocimiento de las propiedades térmicas relativas de los diferentes sistemas textiles que han sido probados de acuerdo a uno u a otro de los dos métodos de ensayo descritos anteriormente.

Como requisito mínimo se requiere que en los puestos de trabajo donde exista peligro de que aparezca un arco eléctrico perturbador las respectivas personas deben llevar ropa protectora con un ATPV no menor de 167.5 kJ/m^2 (4 calorías/cm^2) si es que la ropa ha sido probada según la norma CEI 61482-1-1, o con clase de protección 1 contra arcos eléctricos si es que la ropa ha sido probada de acuerdo a la norma CEI 61482-1-2. Ésto corresponde a una protección básica.

Para trabajos con elevado riesgo de que ocurra un arco eléctrico perturbador se debe elegir ropa de protección con un ATPV más alto o con clase de protección 2 contra arcos eléctricos (protección elevada).

Si la energía de incidencia prevista fuera mayor que el nivel de protección de la ropa entonces solamente el uso de la ropa protectora no es suficiente para garantizar la protección necesaria.

Se debe destacar que los materiales probados no pueden resistir los efectos de cada arco eléctrico. Un arco eléctrico perturbador es un incidente imprevisto cuya intensidad puede sólo ser estimada según los parámetros de red. Riesgos adicionales y factores de inseguridad aparecen, en dependencia de la distancia a que la persona se encuentre del arco o de la postura de trabajo que una persona tome. En general, las propiedades de protección necesarias contra un arco eléctrico tienen que ser determinadas mediante un análisis de riesgos. Instrucciones para la correcta elección del ATPV se encuentran en normas específicas, p.ej., en IEEE 1584 [6] y NFPA 70E [7], o en información sobre el producto (p.ej., [8]). Para la selección de la ropa protectora, que ha sido probada según la norma CEI 61482-1-2 en el ensayo en caja la guía alemana BGI/GUV 5188 [9] (está siendo elaborada actualmente) podrá dar asistencia práctica en un futuro (ver también 8.3).

Debido a la enorme diversidad existente de tejidos y géneros de punto, laminados y sus combinaciones en sistemas de materiales es difícil definir pesos mínimos de materiales. También se ha mostrado en ensayos que, precisamente, en materiales con propiedades superiores de protección el peso por unidad de superficie no es el único parámetro de importancia. De gran significado son sobre todo los parámetros

de selección de una fibra óptima, la construcción del tejido y la disposición en el sistema de materiales (ver también 6.6). Por eso los sistemas textiles escogidos tienen que ser probados para determinar sus valores específicos de protección contra el arco eléctrico.

La evaluación de riesgos debe estar basada en la determinación de la energía del arco eléctrico y la energía incidente prevista en el caso de que ocurra un arco eléctrico en la instalación donde se pretende usar la ropa mientras se trabaja.

6.5 Aseguramiento de la calidad

El efecto protector de un tejido textil contra los efectos térmicos de un arco eléctrico depende de diferentes parámetros. El mayor significado se le concede a la propiedad ignífuga (retardante de la llama). Además, la construcción de tejido y el peso por unidad de superficie son importantes. Durante la fabricación de producciones en serie no es posible eliminar completamente las desviaciones respecto al „tejido modelo“ probado. Particularmente en fibras naturales con apresto ignífugo la calidad del tejido puede variar de una serie de producción a la otra.

Tejidos que han aprobado una vez el ensayo de arco eléctrico pueden no volver a aprobarlo si los ensayos se hacen con tejidos de otra serie de producción. Por lo tanto los materiales retardantes de la llama tienen que ser comprobados poco después de su producción para constatar si sus cualidades ignífugas se han deteriorado o no.

No existe ninguna prueba alternativa real al ensayo de resistencia térmica contra el arco eléctrico (ensayo destructivo) para poder verificar al final de la fase de producción la conformidad con los requerimientos correspondientes. Independientemente de ello los fabricantes de tejidos y de ropas tienen que demostrar que ellos han seguido el mismo procedimiento de fabricación documentado y que el material tiene la misma construcción como en el tejido y la prenda de vestir que fueron probados.

Por esta razón los fabricantes tienen que desarrollar pruebas de muestreo apropiadas de manera que se pueda garantizar una calidad constante. También se debe tener en cuenta el envejecimiento del material que se produce durante el uso práctico y por los numerosos tratamientos de lavado. Como parámetro crítico para las cualidades protectoras la propagación limitada de la llama debe ser evaluada y documentada por el fabricante del material para el tamaño del lote. El tamaño del lote es, como mínimo, la cantidad de material suministrada al fabricante de la ropa. Como unidad mínima se debería considerar un rollo del material.

Se debe añadir que en muchos países hay prescripciones muy restrictivas para la fabricación y el uso de la ropa de protección personal. En la Comunidad Europea

está prescrito de forma obligatoria que los equipamientos de protección personal deben ser sometidos a exámenes de tipo antes de ser lanzados al mercado. Los EPP contra los riesgos del arco eléctrico tienen que ser considerados como equipamientos de la categoría 3 según la Directiva 89/686/CEE para EPP. Por eso se requiere de un sistema de protección de alta calidad o pruebas de muestreo realizadas por un laboratorio certificado de ensayo para asegurar las cualidades definidas del producto durante la fabricación.

6.6 Indicaciones para el uso y recomendaciones para la limpieza

La ropa protectora sólo puede ser eficaz si es usada y llevada correctamente. Cuando se lleva puesta todos los botones y cremalleras deben estar cerrados para crear una barrera contra potenciales peligros térmicos. Si se lleva ropa interior no resistente a las llamas, ésta debería estar elaborada con fibras naturales. No debe permitirse el uso de ropa interior de material sintético derretible no resistente a las llamas. La ropa interior que se derrite bajo la influencia de un arco eléctrico no puede ser llevada. Todas las piezas de ropa no resistentes a las llamas tienen que estar cubiertas totalmente por la ropa de protección contra el arco eléctrico. Adicionalmente, la ropa que está en la parte externa tiene que estar elaborada con material resistente a las llamas (ignífugo). Las prendas de vestir no resistentes a las llamas (p.ej. ropa impermeable, chaquetas, ropa de protección contra el frío, etc.) pueden incendiarse bajo el efecto de un arco eléctrico y seguir quemándose lo que puede llevar a la pérdida de la capacidad protectora de la ropa de protección que se lleva debajo.

A menudo aspectos de comodidad y ergonómicos son razones por las cuales la ropa de protección no es llevada correctamente. Por eso es importante que los empleados sean incluidos, dentro de lo posible, en el proceso de selección y durante las pruebas de uso de la ropa de protección antes de su compra. Se ha mostrado que la inclusión de los empleados es beneficiosa tanto para la selección de la ropa de protección apropiada como para la satisfacción de los empleados.

No sólo la parte superior del cuerpo tiene que estar protegida por la ropa. A pesar de que ninguno de los métodos de ensayos descritos anteriormente está ajustado para la prueba de pantalones es necesaria una intensiva valoración de las cualidades protectoras de estas prendas de vestir. Para ello es esencial, por un lado, el empleo del mismo material para pantalones y para chaquetas y por otro lado se deben cumplir los requerimientos relativos al diseño de la norma CEI 61482-2. Si el análisis de riesgo del puesto de trabajo contemplado da como resultado que el uso de la ropa de protección protectora es suficiente para la parte superior del cuerpo entonces el usuario es responsable por sí mismo de la selección adecuada del pantalón. Para evitar resultados inciertos y posibles riesgos se recomienda la selección de un traje completo de chaqueta y pantalón o de un mono de trabajo.

Puede ser recomendable proteger también el cuello mediante el uso de ropa con cuello.

La ropa de protección y otros EPP tienen que ser controlados antes del uso. Los equipamientos deben ser puestos fuera de servicio si han sido clasificados como defectuosos. El efecto protector de ropa de protección contra arcos eléctricos puede estar reducido o anulado por contaminantes inflamables. Es indispensable limpiar la ropa regularmente para eliminar cualquier posible contaminación. Los procedimientos de lavado recomendados están indicados en la etiqueta de la prenda de protección. Es importante que estas recomendaciones sean cumplidas para mantener las cualidades protectoras de la prenda de vestir. Además las prendas de vestir sólo deben repararse con componentes que sean por lo menos equivalentes a los componentes de la prenda original. Indicaciones adicionales de limpieza y de reparación pueden ser adquiridas por medio de los fabricantes.

La Directiva Europea 89/686/CEE [1] exige que el fabricante ponga a la disposición del usuario información sobre el producto. La ropa tiene que estar marcada, p.ej., con la dirección del fabricante, el número de la norma, el nivel de protección, la talla de la ropa, las prescripciones para el lavado y/o la limpieza en seco, indicaciones sobre confort y el envejecimiento.

Además cada producto tiene que estar equipado con información relevante para el cliente donde se explique el tipo de uso, el valor o la clase de protección, restricciones de uso, advertencias e informaciones sobre almacenamiento, limpieza, decontaminación, reparación, etc.

Como información adicional importante se debe resaltar que la ropa no es normalmente una ropa de protección eléctricamente aislada según la norma EN 50286:1999. Además el usuario tiene que considerar que una protección completa contra los riesgos de un arco eléctrico requiere, además de la ropa de protección, de equipamientos protectores adecuados para la cabeza (protección facial y ocular) y las manos. Estos dispositivos también deben ser examinados con los métodos actualmente disponibles según las normas CEI 61482-1-1 o CEI 61482-1-2.

7 Otros productos EPP: guantes, protección facial

Para otros componentes de los EPP, tales como guantes de protección, cascos, pantallas faciales o viseras, etc, no existen hasta el momento normas internacionales armonizadas con requerimientos para los productos y los métodos de ensayo.



Fig. 7.1: Montaje del ensayo para guantes de protección con adaptación del método de ensayo Arc-Rating-Test (fuente: Dehn+Söhne GmbH + Co. KG Neumarkt/ Alemania)

Tanto el método de determinación de la característica del arco (Arc-Rating-Test) como el método de ensayo en caja (Box-Test) se prestan, en principio, para la comprobación de guantes de protección y de combinaciones casco-visera. Para ello son necesarias algunas modificaciones en el montaje del ensayo (sujeción de las muestras, disposición de los sensores). En la figura 7.1 se muestra el montaje adaptado para la prueba de guantes de protección según el método de ensayo Arc-Rating-Test. Desde hace algún tiempo se discute un proyecto de norma ASTM pero aún no ha sido editado [10]. Las modificaciones en el montaje del ensayo en caja para guantes, como ya está siendo empleado, se muestra en la figura 7.2.

Para la comprobación de pantallas faciales existe la norma ASTM F 2178 [11] que está basada en el método de ensayo Arc-Rating-Test según la norma CEI 61482-1-1 y proporciona el parámetro ATPV. En Europa falta hasta ahora una norma compara-

ble. Por otra parte con el principio de ensayo GS ET-29 [12] se ha desarrollado en Alemania una base para la comprobación y certificación de EPP; esta prueba de arco eléctrico tiene como fundamento el ensayo en caja. Entretanto los principios han sido transferidos al nuevo proyecto de norma alemana E DIN 58118 [13] complementando la norma europea EN 166 [14].

Los EPP deben ser comprobados de acuerdo a las normas internacionales armonizadas, ya sea en adaptación al método Arc-Rating-Test o al método de ensayo en caja. Aquí existe la gran ventaja de que se tiene a la disposición un equipamiento completo de protección personal que ha sido probado y evaluado de acuerdo al mismo principio.

El anexo 5 contiene informaciones adicionales y ejemplos de ensayos de guantes y pantallas faciales según el método de ensayo en caja.



Fig. 7.2: Montaje del ensayo en caja (Box-Test) para la prueba de guantes con paneles para guantes provistos de calorímetros

8 Evaluación de riesgos y cálculo de los riesgos del arco eléctrico

8.1 Selección del EPP y del método de ensayo para el EPP

En principio existe una jerarquía de medidas de protección que debe ser considerada cuando se realiza una evaluación de riesgos de acuerdo a las reglas generales de prevención de la Directiva 89/391/CEE de la UE. El uso de EPP es una medida que se encuentra al final de esta jerarquía; las medidas de protección consisten en los siguientes pasos:

1. **Eliminación:** Si el riesgo es eliminado todas las otras medidas organizativas de control, tales como evaluación, documentación, instrucción e inspección, ya no serían necesarias.
2. **Sustitución:** Si el riesgo no puede ser eliminado entonces debe sustituirse por un peligro menor. Para ello se pueden realizar cambios en el sistema eléctrico, en los fusibles, en los tipos de dispositivos de protección, etc.
3. **Reducción:** Se logra una menor exposición de la persona a los riesgos si se reduce el tiempo durante el cual el trabajador se encuentra en la zona de riesgo.
4. **Adaptación:** Allí donde sea posible se debe adaptar el trabajo a la persona teniendo en cuenta sus capacidades mentales y corporales.
5. **Progreso técnico:** Aprovechar las ventajas del progreso técnico tales como el uso de operaciones de control remoto, p.ej. aparatos de reconexión después de fallas, control remoto para instalaciones de conexión / aisladores, etc.
6. **Aislamiento:** Colocar una barrera entre la persona y la fuente de peligro empleando medios físicos (dispositivos de protección, pantallas, coberturas, operación desde un puesto de control separado) o determinando una distancia de separación entre la persona y la zona de peligro.
7. **Controles múltiples:** Se puede implementar métodos múltiples de control empleando al mismo tiempo medidas técnicas y organizativas como las arriba descritas. Si las medidas se combinan correctamente entonces se debilita el nivel de riesgo sobre la persona.
8. **Mantenimiento:** Mediante la introducción y el desarrollo de planes de mantenimiento e inspección en las instalaciones y equipos se puede asegurar la

correcta operación de los componentes y elementos tales como conmutadores, interruptores de circuito, aisladores, etc. Ésto puede incluir el desarrollo / la introducción de un programa de mantenimiento basado en los riesgos.

9. **Instrucción:** Asegurar que todos los empleados sean conscientes de los peligros a que están expuestos durante la operación de los equipos, cuales son las acciones a realizar para disminuir los riesgos. Los trabajadores tienen que ser lo suficientemente competentes para realizar el trabajo requerido y comprender totalmente como se deben implementar y emplear eficientemente las normas de seguridad y los dispositivos de protección incluyendo los EPP. Dentro de ello se incluye que los trabajadores sepan como deben manipular su propio EPP.
10. **Equipamiento de protección personal:** Éste debería ser el último recurso a emplear después que todas las otras medidas hayan sido consideradas y/o implementadas. Todos los EPP tienen que estar diseñados según las correspondientes normas en vigencia y tienen que ser capaces de proteger a las personas contra los riesgos de daños. El EPP debe ser llevado, mantenido y limpiado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
11. **Medidas de emergencia:** Tales como sistemas de alarma y medidas de control de reserva. Ellas entran en vigor cuando todas las demás fallan, deben considerar los pasos a seguir cuando ocurre un incidente de tal forma que los efectos del mismo sobre las personas puedan ser minimizados.

Cuando se realizan trabajos bajo tensión o trabajos en la cercanía de piezas bajo tensión se requiere el uso de EPP.

La facilitación de los EPP por el empresario como también su uso por el trabajador están prescritos por leyes nacionales e internacionales. Por consiguiente el EPP facilitado tiene que ofrecer protección contra el peligro a prevenir sin causar con ello un riesgo aún mayor. El EPP debe ser apropiado para las condiciones existentes en el puesto de trabajo y cumplir con las necesidades ergonómicas y los requerimientos de salud del empleado. Los empleados están en el deber de usar correctamente el EPP.

Como resultado de los métodos de ensayo de los EPP se determinan niveles de protección en forma de energías incidentes (ATPV) o energías del arco eléctrico (clases de protección contra arco eléctrico) sobre las cuales se tiene que basar la selección del EPP. El usuario del EPP está confrontado con la necesidad de considerar y manejar estos parámetros de energía. Para suministrar asistencia al respecto se resolvió compilar informaciones en forma de procedimientos que posteriormente se describen. Los principios de la evaluación de riesgos y los estudios sobre el arco eléctrico se presentan a continuación.

En correspondencia con los dos métodos diferentes de ensayo de arco eléctrico existen también dos vías distintas para la selección del EPP: Si el EPP fue probado con

- el método Arc-Rating-Test: se selecciona sobre la base de la determinación de las energías incidentes
- el método en caja: se selecciona sobre la base de la determinación de las energías del arco eléctrico

que están previstas en el puesto de trabajo examinado. Los métodos para la averiguación de estos valores previstos están adaptados y parametrizados a uno o al otro tipo de ensayo de arco eléctrico y sus correspondientes características de transferencia de calor. Por eso pueden producirse interpretaciones erróneas si no se tienen en cuenta estas correspondencias, p.ej. usando la determinación de la energía incidente para seleccionar un EPP que ha sido probado según el método en caja.

En el apartado 8.2 están representados los procedimientos para la selección del EPP que ha sido probado con el método Arc-Rating-Test. El procedimiento a seguir en el caso del EPP que ha sido clasificado sobre la base del método en caja está descrito en el apartado 8.3.

8.2 Determinación de la energía incidente para la elección del ATPV

Normas internacionalmente reconocidas han sido creadas para apoyar a las empresas no sólo en la determinación de los riesgos asociados con los arcos eléctricos sino también en la selección de EPP apropiados para los trabajadores.

NFPA 70E - Norma para la seguridad eléctrica en el puesto de trabajo

El NFPA 70E define procedimientos de trabajo seguros para electricistas. En esta norma se discuten los métodos del análisis de peligros y riesgos y las medidas preventivas. La norma exige que sea realizado un análisis de riesgos del arco eléctrico para el trabajo en o en la cercanía de instalaciones bajo tensión. Este análisis ayuda a determinar no sólo el EPP necesario sino también el área de protección contra el arco eléctrico alrededor de la instalación en la cual el EPP debe ser llevado.

En general hay tres métodos de análisis de riesgos en discusión.

1. Un análisis de riesgo detallado que calcula la energía incidente como resultado de un arco eléctrico. En este método se determinan primeramente los parámetros de la red y de la instalación así como el modo de operación. A continuación se calculan las corrientes prospectivas de falla y se estiman las correspondientes

corrientes del arco eléctrico. Aquí se debe tener en cuenta que las corrientes del arco eléctrico dependen altamente de los dispositivos protectores y de la duración resultante del arco eléctrico. Partiendo de ello y junto con la tensión de red, la configuración de la instalación y las distancias de trabajo se calcula la energía incidente originada (en cal/cm^2). Los métodos de calculación y las fórmulas se encuentran disponibles no sólo en la norma NFPA 70E sino también en la guía IEEE 1584. El EPP correcto se selecciona de tal manera que los parámetros del arco eléctrico sean iguales o mayores que la energía incidente resultante del cálculo.

2. Los ejemplos de tareas laborales están indicados en forma de tabla. Las tareas laborales están organizadas no sólo según el tipo de instalación sino también según la tensión de red. Para cada tarea se indica la Categoría de Peligro/Riesgo a ella asociada (hazard risk category – HCR). El nivel HRC equivale a los parámetros mínimos del arco eléctrico de la ropa de protección que debe ser llevada para realizar la tarea en cuestión. Para otros equipamientos de protección personal se ofrece orientación mediante tablas adicionales para su Categoría de Peligro/Riesgo (HRC) específica.
3. Un enfoque de dos categorías simplificado basado en la matriz de tareas de trabajo en la cual la selección del EPP ocurre exclusivamente sobre la base de la tensión de red. Con pocas excepciones la ropa HRC 2 es recomendada para tensiones de red menores de 1000 voltios y la ropa HRC 4 para tareas laborales con tensiones mayores de 1000 voltios.

Es importante tener en cuenta que el límite de protección contra el arco eléctrico tiene que ser determinado para cualquiera de los métodos opcionales descritos anteriormente. Cuando se trabaja en la zona de protección contra el arco eléctrico se tiene que usar ropa de protección. Los métodos 2 y 3 son muy útiles para empresas con sistemas eléctricos muy diferentes.

IEEE 1584 – *Guía IEEE para la realización de cálculos del riesgo del arco eléctrico*

Este estándar define una metodología para la realización de un detallado análisis de riesgos de arco eléctrico. Se reúne información acerca de cada pieza de equipamiento dentro del sistema eléctrico, p.ej. tensión de red, corrientes de falla, posible duración de cortocircuito y distancias de trabajo. Los cálculos son hechos para determinar tanto la energía incidente potencial (en cal/cm^2) como el límite de protección contra el arco eléctrico.

8.3 Cálculo de la energía prevista y la energía equivalente de un arco eléctrico para la selección de la clase de protección Box-Test

La selección del EPP o la clase de ensayo en caja para su correspondiente prueba requiere un análisis de riesgos en el cual se debe determinar la energía del arco eléctrico W_{arc} que se prevee en el puesto de trabajo contemplado como también la energía equivalente del arco W_{prot} que caracteriza el nivel de protección del EPP bajo las condiciones respectivas de trabajo (ver esquema de procedimiento en la figura 8.1).

La energía prevista del arco $W_{arc} = W_{LB}$ depende de las condiciones de la red, es decir, de la potencia de cortocircuito de la red S_k'' en los posibles lugares de falla y de la duración de cortocircuito t_k que es determinada por las instalaciones protectoras eléctricas (tiempo de desconexión de los interruptores, fusibles o, en ocasiones, dispositivos especiales de protección) y que se derivan de las características de conmutación. Además ella depende de las condiciones de la apartamiento de conexión que están caracterizadas por el factor k_p teniendo en cuenta las condiciones de quemado del arco y la geometría de los electrodos en el lugar de la falla. Este factor puede determinarse aproximadamente partiendo de la tensión del arco de la figura A1 en el anexo 1 [15]. Para una estimación aproximada sin considerar la geometría de la apartamiento de conexión se pueden emplear los valores máximos de la curva k_p . Además los rangos de valores indicados en la figura A1 se consideraron habituales para configuraciones usuales de instalaciones eléctricas y también pueden ser usados como valores aproximados. En ambos casos los problemas prácticos para hallar los parámetros de geometría son evitados a costa de la exactitud.

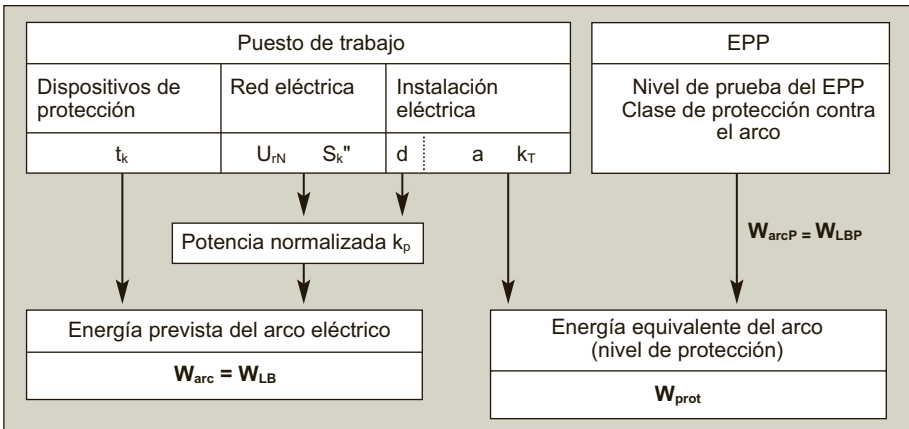


Fig. 8.1: Resumen de los parámetros y el procedimiento para el análisis de riesgos relacionado con los EPP probados con el ensayo en caja (Box-Test)

El valor máximo de energía del arco eléctrico determinada para el caso en cuestión se compara con el nivel de protección W_{prot} (energía equivalente del arco). La energía equivalente del arco es aquella donde todavía está dado el efecto protector del EPP según la distancia de trabajo a (ver tabla 8.1).

Clase	Grado de protección	Nivel de prueba W_{arcP}	Nivel de protección W_{prot}
1	Protección básica	158 kJ	$(1 \dots 2,4) \cdot \left(\frac{a}{300 \text{ mm}}\right)^2 \cdot 158 \text{ kJ}$
2	Protección elevada	318 kJ	$(1 \dots 2,4) \cdot \left(\frac{a}{300 \text{ mm}}\right)^2 \cdot 318 \text{ kJ}$

Tab. 8.1: Niveles de protección de los EPP probados con el ensayo en caja (Box-Test)

El nivel de prueba del EPP $W_{\text{arcP}} = W_{\text{LBP}}$ es válido para las condiciones de transmisión de calor y la distancia de exposición $a = 300 \text{ mm}$ del montaje de ensayo en caja. Por consiguiente la energía equivalente del arco se determina según la fórmula

$$W_{\text{prot}} = k_T \cdot \left(\frac{a}{300 \text{ mm}}\right)^2 \cdot W_{\text{arcP}}.$$

W_{arcP} es el nivel de prueba de la energía del arco de acuerdo a la tabla 5.2. El factor k_T considera la Instalación eléctrica, sobre todo el volumen del área abierta en el cual el arco eléctrico probablemente arderá. Como valor estándar y particularmente para construcciones estrechas con muros laterales y traseros y de pequeño volumen (cajones de conexión domiciliaria, tableros de distribución, etc.) este factor es $k_T = 1$, para áreas mayores de combustión (p.ej., áreas limitadas principalmente por muros traseros) se puede suponer entre 1,5 y 1,9 y en el caso de arcos eléctricos abiertos es 2,4.

El anexo 6 contiene instrucciones detalladas para el análisis de riesgos. Además se presentan ejemplos prácticos.

Una **protección básica contra el arco eléctrico** es generalmente necesaria y es proporcionada mediante el uso del correspondiente EPP si existe el peligro de que aparezca un arco eléctrico y pueda haber una exposición al mismo durante la realización de trabajos electrotécnicos y en el entorno de trabajo. En el caso de que los trabajos con riesgo de aparición de arco sean realizados más a menudo o tienen lugar en instalaciones eléctricas de mayor amperaje entonces es necesaria una **protección elevada contra el arco eléctrico**. La decisión por uno o el otro grado de protección debe estar basada en la comparación de las energías del arco eléctrico.

El anexo 7 contiene un resumen de actividades laborales en diferentes instalaciones de baja tensión ($U_n = U_{Rn} \leq 1000 \text{ V}$) haciendo referencias a los EPP requeridos.

Clase 1	$a = 300 \text{ mm} \sqrt{\frac{k_p \cdot U_n \cdot I_{k3p} \cdot t_k}{(1 \dots 2, 4) \cdot 91 \text{ kJ}}}$
Clase 2	$a = 300 \text{ mm} \sqrt{\frac{k_p \cdot U_n \cdot I_{k3p} \cdot t_k}{(1 \dots 2, 4) \cdot 184 \text{ kJ}}}$

Tab. 8.2: Distancias mínimas de trabajo (límites del arco eléctrico)

Por otra parte, en el caso de tareas laborales especiales y riesgos extremos de aparición de arco y/o en instalaciones de mayor amperaje se tiene que considerar la aplicación concreta y sacar conclusiones si se permite o no el trabajo bajo tensión o el trabajo en la instalación abierta, o si el EPP tiene que cumplir requisitos especiales. Si el nivel de protección mayor del PPE es sobrepasado existen las siguientes alternativas prácticas:

- Reducción de la duración del arco mediante el uso de dispositivos apropiados de protección (p.ej. fusibles ultra-rápidos, sistemas especiales de detección y extinción de arcos eléctricos)
- Instrucciones para la observación de las distancias mínimas de trabajo (ver tabla 8.2)
- Comprobación de los EPP en niveles más altos de energía
- Prohibición de las tareas laborales bajo tensión.

8.4 Relación empírica entre ATPV y la clase de protección Box-Test

Los métodos de ensayo según las normas CEI 61482-1-1 y CEI 61482-1-2 se diferencian completamente en sus principios y en sus características técnicas. Sin embargo, hay un punto común: la medición de la energía incidente con ayuda de calorímetros y su valoración mediante el criterio de Stoll-Chianta para quemaduras de piel de segundo grado [2].

No hay ninguna posibilidad de conversión matemático-física de los resultados de ambos métodos de ensayo debido a las diferencias técnicas en sus procedimientos. Sin embargo se puede establecer una correlación de forma empírica.

Una correlación puramente empírica de los resultados de las pruebas fue efectuada para tejidos típicos de urdimbre que fueron examinados no sólo en el ensayo Arc-

Rating-Test sino también en el ensayo en caja. La figura 8.2 muestra la principal correlación para tejidos típicos de protección contra el arco hechos de fibra aramida y de algodón resistente al fuego. Generalizando se puede apuntar al respecto que la clase 2 de protección contra el arco del ensayo en caja es alcanzada con seguridad por tejidos cuyo ATPV > 30 cal/cm².

La clase 1 de protección contra el arco del ensayo en caja supone un ATPV = 4...30 cal/cm². El zona entre aprox. 24...34 cal/cm² es una zona de transición donde la clase 2 es aprobada o no aprobada según las propiedades específicas del tejido. Cada una de las clases de protección contra el arco del ensayo en caja abarca una zona ATPV.

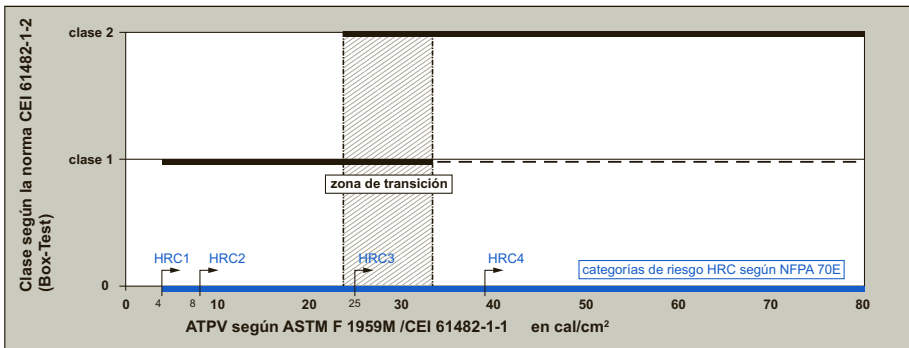


Fig. 8.2: Relación empírica entre el ATPV y la clase de protección contra el arco para tejidos típicos de urdimbre / sistemas típicos de tejidos de protección contra el arco eléctrico, hechos de fibra aramida y algodón resistente al fuego (basada en [8] y resultados de los ensayos de Kinectrics, Toronto, y STFI, Bonn)

La información de la figura 8.2 no puede ser usada para la caracterización de materiales o EPP que no han sido probados. Estas consideraciones sobre la correlación están destinadas exclusivamente a dar una estimación aproximada y a servir como orientación pero no para reemplazar los correspondientes ensayos ni para deducir decisiones prácticas ni tampoco para la selección de EPP.

Naturalmente los diferentes materiales textiles poseen en cada caso sus propias correlaciones específicas de resultados actuales de pruebas. La „generalización“ en la figura 8.2 sólo se refiere a ciertos materiales textiles y representa el nivel de conocimiento actual. Ésto no es transferible a otros EPP. En el caso de pantallas faciales de protección, por ejemplo, existen otras relaciones completamente diferentes.

9 Índice de literatura

- [1] Directiva Europea 89/686/CEE – Directiva del Consejo Europeo para la armonización de las legislaciones de los países de la UE relativas a los equipamientos de protección personal (Directiva EPP)
- [2] STOLL, A.M.; CHIANTA, M.A.: Método y sistema de caracterización para la evaluación de la protección térmica (Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection), Aerospace Medicine, Volumen 40, 1968, páginas 1232-1238
- [3] CEI 61482-1-1:2009: 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
- [4] CEI 61482-1-2:2007: Trabajos en tensión – Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico – Parte 1-1: 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
- [5] CEI 61482-2:2009: Trabajos en tensión – Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico – Parte 2: Requerimientos
- [6] IEEE 1584-2002: Guía para el cálculo de los riesgos derivados del arco eléctrico
- [7] NFPA 70E: Seguridad eléctrica en lugares de trabajo, National Fire Protection Association, Edición 2009
- [8] Protección superior contra peligros térmicos (Superior Protection against Thermal Hazards – DuPont™ Nomex® Applications for Industrial Workers), Folleto empresarial DuPont, 2008
- [9] BGI/GUV-I 5188: Guía para la selección de equipamiento de protección personal para trabajos en instalaciones eléctricas (Unterstützung bei der Auswahl der Persönlichen Schutzausrüstung bei Arbeiten in elektrischen Anlagen), Asociación Profesional Información (en preparación, publicación prevista para 2011)

- [10] Proyecto de trabajo ASTM WK14928: Nuevo método de ensayo para determinar la característica del arco de guantes 1 (New Test Method for Determining the Arc Rating of Gloves 1) (en discusión)
- [11] ASTM F2178–2008: Método estándar de ensayo para determinar la característica del arco y la especificación estándar de los productos para protección facial (Standard Test Method for Determining the Arc Rating and Standard Specification for Face Protective Products)
- [12] GS-ET-29: Principios de prueba „Protección facial para el electricista“ – Requisitos adicionales para la evaluación y certificación de pantallas de protección facial para trabajos eléctricos. (Prüfgrundsatz „Elektriker-Gesichtsschutz“ – Ergänzende Anforderungen an die Prüfung und Zertifizierung von Gesichtsschutz für elektrische Arbeiten). Editor: BG-PRÜFZERT Köln 2008-02 y 2010-02
- [13] E DIN 58118: Protección ocular y facial contra arcos eléctricos (Augen- und Gesichtsschutz gegen Störlichtbögen), proyecto 2010-12
- [14] EN 166: 2001: Protección ocular personal – Requerimientos
- [15] SCHAU, H.; HALINKA, A.; WINKLER, W.: Dispositivos de protección eléctrica en las redes e instalaciones industriales (Elektrische Schutzeinrichtungen in Industrienetzen und -anlagen). Hüthig & Pflaum Verlag München/Heidelberg 2008

Anexo 1

Determinación de la potencia y la energía del arco eléctrico

La energía del arco eléctrico se determina mediante la conversión de la potencia en todos los arcos implicados en la falla:

$$W_{\text{arc}} = W_{\text{LB}} = \int_0^{t_k} \sum_V u_{\text{LB}} \cdot i_{\text{LB}} \cdot dt = P_{\text{LB}} \cdot t_k.$$

Ella depende de la potencia activa total del arco P_{LB} y de la duración del arco t_k . En el caso de una falla trifásica la potencia activa del arco

$$P_{\text{arc}} = P_{\text{LB}} = k_P S_k''$$

depende, por un lado, de la capacidad de cortocircuito (trifásica) de la red eléctrica

$$S_k'' = \sqrt{3} U_n I''_{k3p}.$$

Por otro lado la potencia del arco es determinada por

- el circuito eléctrico (sistema de energía)
 - tensión de la red $U_n = U_{rN}$,
 - corriente de cortocircuito I''_{k3p} ,
 - relación resistencia/reactancia de la impedancia de la red R/X
- y la instalación eléctrica (configuración): distancia entre los conductores d .

Esto se expresa mediante el parámetro

$$k_P = P_{\text{LB}} / S_k''.$$

El parámetro k_P es la potencia normalizada del arco. Este parámetro puede simplificarse aproximando el curso de las curvas de la figura A1.1 y es principalmente una función del voltaje del arco

$$U_B = f(d; I''_{k3p}; U_{rN}; R/X)$$

y, en consecuencia, una función de la distancia entre los electrodos que está determinada por la distancia entre los conductores d y la configuración de la instalación eléctrica. Ecuaciones empíricas para la determinación de la tensión del arco eléctrico se encuentran en literatura especializada, p.ej. en [15]. Aquí se requiere de conoci-

mientos especiales, entre otros, aquellos relacionados con la construcción de equipos eléctricos.

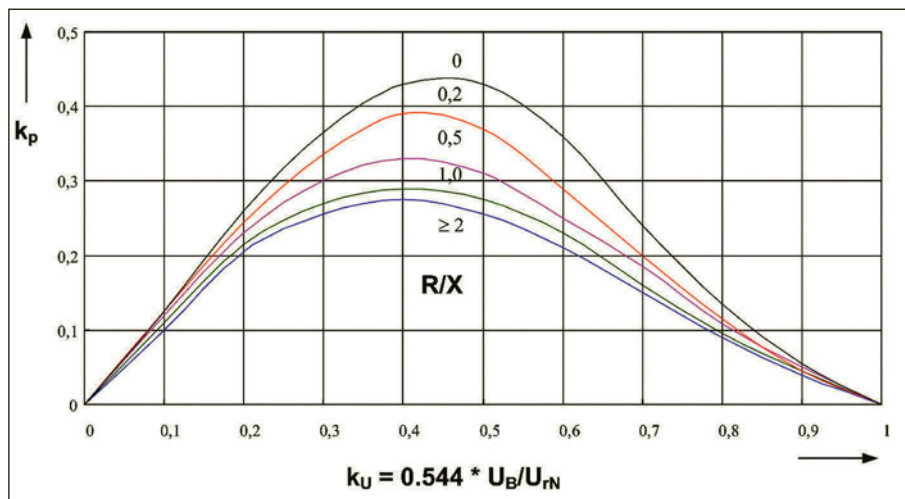


Fig. A1.1: Potencia normalizada del arco k_p para cortocircuitos trifásicos de arco

Para una estimación aproximada sin considerar la geometría de la instalación eléctrica se pueden emplear los valores máximos de las curvas k_p . Los valores máximos de la potencia normalizada del arco k_{pmax} se pueden calcular mediante

$$k_{pmax} = 0.29 \cdot (R/X)^{-0.17}.$$

En la tabla A1.1 se muestran esos valores para la consideración del peor de los casos. Experiencias prácticas han demostrado que la potencia normalizada del arco muchas veces se encuentra en los ámbitos de valores guías que también se indican en la tabla A1.1. En el caso de instalaciones de baja tensión este ámbito de valores guías es típico para instalaciones con distancias pequeñas entre los conductores d : $d \leq 40$ mm para instalaciones en la cercanía de la estación de transformadores y $d \leq 70$ mm para instalaciones cercanas al usuario final.

Por consiguiente la determinación de la potencia del arco eléctrico puede basarse en

- la consideración de la geometría de la instalación (distancias relevantes entre los electrodos d)
- los valores guías
- los valores máximos de la energía normalizada del arco eléctrico.

El acercamiento a los valores reales se hace más pequeño en la secuencia de esta lista, los márgenes de seguridad aumentan. Con ambos, tanto los valores máximos como los valores guías, los problemas prácticos en la búsqueda de los parámetros de la geometría se evitan a costa de la precisión.

La aplicación del procedimiento de cálculo se demuestra en el apartado 8.5.

Valores máximos		Valores guías		
R/X	k_{Pmax}	tensión de la red	k_p	ámbito de validez
< 0.1	0.45	NS (≤ 1000 V)	0.22...0.27	Para $d \leq 40$ mm en instalaciones en la cercanía de transformadores; Para $d \leq 70$ mm en instalaciones cercanas al usuario final
0.1	0.43			
0.2	0.38			
0.5	0.33			
1.0	0.29	MS (> 1000 V)	0.04...0.10	
2.0	0.26			
≥ 0.2	0.25			

Tab. A1.1: Valores máximos y valores guías de la potencia normalizada del arco

Anexo 2

Parámetros térmicos del arco eléctrico – Definiciones y términos

Potencia del arco P_{LB}

es la potencia total activa de todos los arcos eléctricos implicados en la falla durante la duración del arco y que es determinada por las respectivas corrientes y tensiones del arco. Es el valor promedio del producto de la corriente del arco y la tensión del arco. Como parámetro k_P es relativa a la capacidad de cortocircuito y se puede determinar con la ayuda de los parámetros del circuito eléctrico tensión nominal de la red U_{IN} y la corriente prospectiva de cortocircuito I_K (ver anexo 1)¹.

Energía del arco W_{LB}

es la energía eléctrica (en kW_s o kJ) suministrada durante la falla y que es convertida en el arco eléctrico. Ella es el producto de la potencia del arco P_{LB} y la duración del arco t_{arc} (duración del cortocircuito t_K) determinada como integral (suma) del producto de la tensión instantánea del arco u_{arc} y de la corriente del arco i_{arc} y del incremento del tiempo dt por encima de la duración del arco.

Energía incidente E_i

es la energía calorífica total por unidad de superficie (en kJ/m² o kW_s/m² o cal/cm²)² recibida en una superficie a consecuencia de un arco eléctrico. Se debe diferenciar entre la energía incidente directa y la energía incidente transmitida. En los ensayos se mide con la ayuda de calorímetros de cobre.

La **energía incidente directa E_{io}** es la densidad de la energía calorífica que resulta directamente del arco sin que haya influencias del EPP. Ella surte efecto si no se emplea EPP. Los calorímetros medidores están expuestos directamente a los efectos del arco.

La **energía incidente transmitida E_{it}** es el calor, que se mide en la parte trasera del EPP y que surte efecto cuando se emplea EPP. Ella es la parte de la energía calorífica total liberada (energía incidente directa) que traspasa el EPP.

¹ La corriente del arco que realmente fluye a través del arco durante la duración del mismo está sometida a variaciones estocásticas del tiempo debido a la impedancia no lineal del arco. Debido a esta impedancia hay una diferencia entre la corriente del arco y la corriente prospectiva del cortocircuito I_K ; el valor efectivo de la corriente del arco I_{arc} es menor que el de I_K . La corriente prospectiva del cortocircuito fluye cuando los electrodos del arco están puenteados por una conexión metálica de impedancia insignificante (cortocircuito metálico). La corriente prospectiva del cortocircuito caracteriza claramente el entorno eléctrico del arco (red de energía). La corriente de prueba I_P , que durante los ensayos con EPP es ajustada en el circuito de ensayo, también está indicada como corriente prospectiva del cortocircuito porque sólo de esta manera se pueden definir y establecer condiciones reproducibles de prueba.

² kJ/m² y kW_s/m² son unidades equivalentes. Las reglas de conversión en cal/cm² son: 1 cal/cm² = 41,868 kJ/m²; 1 kJ/m² = 0,023885 cal/cm².

Criterio de Stoll/Curva de Stoll

es una curva límite para la relación entre la energía térmica y el tiempo de duración que resulta de los datos sobre la tolerancia del tejido humano ante los efectos del calor y que se emplea para predecir el surgimiento de una lesión por quemadura de segundo grado [2]. Esta relación se describe mediante

$$E_{iStoll} = 50.204 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot t_{max}^{0,2901}$$

(ver figura A2.1). La curva límite se emplea como criterio para definir si una persona está protegida o no contra quemaduras inadmisibles de la piel y por lo tanto sirve para evaluar si una prueba de EPP ha sido aprobada o no desde el punto de vista de la transferencia de calor.

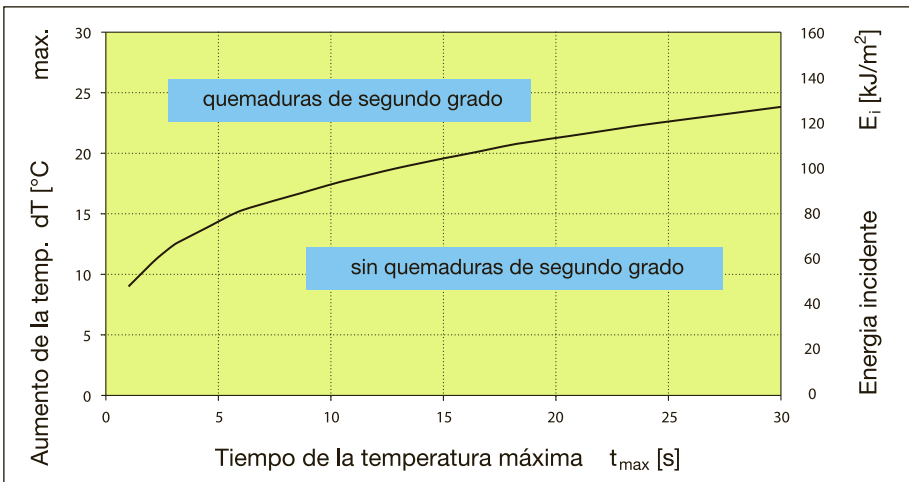


Fig. A2.1: Curva de Stoll – Criterio para el principio de quemaduras de segundo grado según [2]

Efecto protector térmico contra el arco eléctrico

es la propiedad comprobada del EPP de mostrar resistencia al arco eléctrico (soportar la acción de un arco eléctrico) y evitar quemaduras de segundo grado. Es el grado de protección térmica contra el arco eléctrico que brinda el EPP bajo condiciones específicas de ensayo del arco. Los ensayos pueden ser realizados según el método Arc-Rating-Test con un arco de ensayo abierto [3] o según el método Box-Test con un arco dirigido [4].

Resistencia térmica al arco

es la facultad del EPP de resistir los efectos térmicos de un arco eléctrico. Los

criterios son ignición y postcombustión (tiempo de combustión), rotura y formación de huecos, fusión y fusión a través de todas las capas, carbonización, encogimiento, goteo y fragilización.

Parámetro del arco

es el resultado del ensayo según el método Arc-Rating-Test. Es determinado como ATPV o E_{BT50} e indica el nivel de la energía incidente hasta el cual un EPP que ha sido probado con un arco eléctrico abierto ofrece protección térmica contra un arco eléctrico.

ATPV

es el valor de rendimiento térmico ante un arco eléctrico. Es una propiedad del material del EPP que indica el resultado del ensayo del EPP con un arco eléctrico abierto (Arc-Rating-Test). Es la energía incidente directa de un arco eléctrico abierto que debido al EPP provoca una energía transmitida equivalente al valor límite de Stoll para el principio de quemaduras de segundo grado. En el caso de ensayos con arco eléctrico es, según las definiciones en [3], la energía incidente directa sobre un material o un sistema multicapas de materiales que con una probabilidad estadística de 50 % conlleva a un traspaso de calor que puede tener como consecuencia la aparición de quemaduras de segundo grado de acuerdo a la curva de Stoll sin provocar rotura en el material.

Rotura

es la reacción del material evidenciada por la formación de una o varias aperturas en el material que puede permitir el paso de la llama a través del material. Es el resultado del ensayo Arc-Rating-Test con un arco eléctrico abierto en aquellos casos donde el material del EPP muestra roturas antes de que la energía incidente transmitida sobrepase el límite de Stoll. El valor umbral de la energía de rotura E_{BT50} es la energía incidente directa sobre un tejido o material que causa una probabilidad del 50 % de que una suficiente cantidad de calor traspase la muestra comprobada causando una rotura en la misma.

Clase de protección contra el arco eléctrico

es una categoría del efecto protector de EPP contra el arco eléctrico que fueron probados con el método de ensayo en caja (Box-Test). Es el nivel de energía de exposición al arco ajustada en el ensayo. Un EPP comprobado ofrece protección térmica contra el arco por lo menos hasta el nivel de energía de ensayo de la clase correspondiente³. Para el ensayo en caja se definen dos clases. Clase 1 significa protección personal básica contra el arco, clase 2 significa protección personal elevada contra el arco.

³ En general, la energía de exposición real límite hasta la cual se proporciona protección es mayor.

Nivel de energía de ensayo

es el nivel de energía eléctrica del arco W_{LBP} y de la correspondiente energía de exposición directa E_{i0P} ajustada en el ensayo en caja en la clase de protección de arco seleccionada y que es usada para la exposición del EPP. Este nivel caracteriza el nivel mínimo de energía hasta el cual el EPP ofrece protección en situaciones prácticas de trabajo si las condiciones de transmisión de calor son comparables⁴.

Nivel de protección del EPP (energía equivalente del arco) W_{prot}

es la energía eléctrica equivalente del arco resultante en el mismo nivel de energía incidente directa del ensayo Box-Test E_{i0P} también bajo condiciones de transmisión de calor que son diferentes a las condiciones del ensayo Box-Test en cuanto a la distancia de exposición a y al factor de transmisión k_T . Si las condiciones de transmisión de calor son las mismas que en el ensayo Box-Test entonces la energía equivalente del arco es igual al nivel de energía de ensayo W_{LBP} .

Factor de transmisión k_T

es un parámetro que se encuentra entre 1,0 y 2,4. Este parámetro considera la influencia de la configuración de la instalación que rodea a los electrodos del arco. En el caso de compartimentos pequeños o instalaciones de pequeña escala con laterales estrechos y paredes traseras que disponen de poco volumen el factor es 1,0.

⁴ Debido a las condiciones extremas de transmisión de calor existentes causadas por el montaje del ensayo en caja en muchos casos el límite de protección será mayor en la práctica.

IEC 61482-1-1:2009

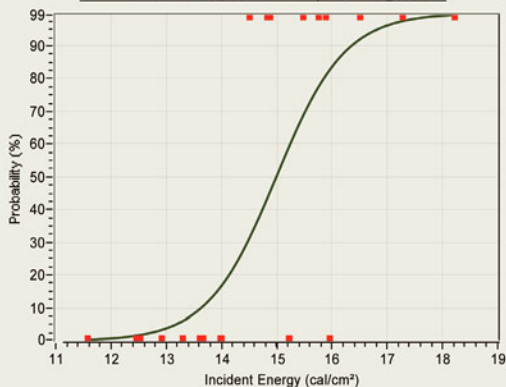
Live working- Flame resistant materials for clothing, Thermal hazards of an electric arc.



Client: Client name
address

Fabric: 340 g/m² Navy Sateen - 87% cotton / 12% nylon / 1% antistat
Description:

Determination of ATPV, 50% Probability of 2nd Degree Burn

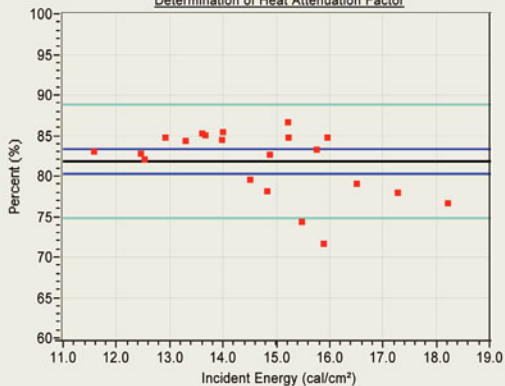


ATPV = 14.2 cal/cm²

Probability of Burn	Ei
5%	13.2
10%	13.6
20%	14.1
30%	14.5
40%	14.7
50%	15.0
60%	15.2
70%	15.5
80%	15.9
90%	16.4

Pts = 21
 # Pts above Stoll = 9
 # Pts Break-Open = 1
 # Pts always <STOLL = 3
 # Pts always >STOLL = 9
 # Pts within 20% = 19
 # Pts in mix zone = 9

Determination of Heat Attenuation Factor



HAF = 81.8 %

Confidence Intervals
 95% CI = 80.3 , 83.3

Data pts

Best Fit

95% CI

95% CI pts

Anexo 4

Informe de prueba de un ensayo Box-Test – Determinación de la clase de protección para un ejemplo de material

Extracto de un informe de certificación





Enclosure 1 to Certificate Report No. Z 3709/XX-4791/XX

PRÜFSTELLE TEXTIL

Durch die DGA Deutsche Gesellschaft für Akkreditierung mbH - vertreten im Deutschen Akkreditierungsrat - akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Durch die Zentralstelle der Länder für Sicherheitstechnik (ZLS) akkreditierte Prüfstelle für Produkte im Sinne der EG-Richtlinie für Persönliche Schutzausrüstungen 89/686/EWG und des §9 Abs. 2 Gerätesicherheitsgesetz.

Von der Federation Internationale de L'Automobile (FIA) Paris zugelassene Stelle zur Prüfung von hitze- und flammresistenter Schutzkleidung für Auto-Rennfahrer gemäß Standard FIA 8856-2000



stfi
SÄCHSISCHES
TEXTIL
FORSCHUNGS
INSTITUT e.V.

UNTERSUCHUNGSBERICHT | TESTREPORT

Order No. STFI:	1083/XX
Order No applicant :	
Date of Test Report:	01 January 2011
Testing officer:	Mehnert
Manufacturer:	<div style="background-color: #cccccc; width: 100%; height: 30px;"></div>
Applicant:	<div style="background-color: #cccccc; width: 100%; height: 30px;"></div>
Testing application:	
of	01 January 2011
order receipt on	01 January 2011
sample receipt on	taken from order A 0713/XX

Die Prüfstelle des STFI e.V. führt als kompetentes Institut auch Prüfungen nach DIN EN ISO 11000 Standard 100 durch.
Das Leistungswortzeichen der Prüfstelle des STFI e.V. ist zu finden unter <http://www.stfi.de/prüfung/pruefbedien.htm>
Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen des STFI e.V. und der ITT GmbH - The general terms of business of STFI e.V. and ITT GmbH are valid.

www.stfi.de

Vorstandsvorsitzender:
Prof. Dr.-Ing. Hinnerk Fuchs

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.
Annaberger Str. 240 · 09125 Chemnitz, Germany

Leiter der Prüfstelle:
Dr.-Ing. Matthias Mielge

Telefon +49 3 71 52 74-1 72
Telefax +49 3 71 52 74-1 53

E-Mail
matthias.mielge@stfi.de



Test specimen: fabric for protective clothing

Marking by applicant	Coding in Test House	Coding for arc testing
fabric [redacted] Ref. S/853 87% cotton / 12% nylon / 1% antistat, approx. 340 g/m ² royal blue or other colours of the same dye stuff class	sample 01	08-DU1 / 08-DU2 08-DU4 / 08-DU5

The sampling was carried out by applicant. In the testing house are no knowledge's about method of sampling.

Test program/Test conditions:

Technical type examination in accordance with EN 61482-1-2:2007-01 in connection with IEC 61482-2 Ed.1 2009-04.

Implementation of the pre-treatment:

5 washing treatments according to ISO 6330:2000, method 2A/+E, Wascator

Property	Test method
<i>according to IEC 61482-2:</i>	
Dimensional change after 5 washing cycles	EN 25077:1993/ EN ISO 3759:1995/ EN ISO 6330:2000
Limited flame spread after 5 washing cycles	EN ISO 15025:2002 surface ignition, flaming time 10s
Tear strength	EN ISO 4674-1:2003, method B
Tensile strength	EN ISO 13934-1:1999
Arc thermal resistance requirements	EN 61482-1-2, material box test method ¹⁾ class 1...4 kA class 2...7 kA

1) Arc thermal resistance test according to EN 61482-1-2

Testing of fabrics according to EN 61482-1-2:2007-01, "Live working - Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc - Part 1: Test methods - Method 2: Determination of arc protection class of material and clothing by using a constrained and directed arc (box test)".

Test conditions:

- prospective electric arc current: **4 kA** (corresponding to **Class 1** of EN 61482-1-2)
- Arc duration: 500 ms
- Voltage of open test circuit: 400 V AC (50 Hz)
- Copper- / aluminium electrodes: electrodes gap 30 mm
- Electrodes distance to sample: 300 mm

The tests were carried out in co-operation with High Current Testing Thomas v. Freyberg at the International Institute for Product Safety in Bonn/ Germany. The Sub-lab works on basis of quality management system for the test method. A representative of STFI was present during the tests.



Test results:

Property - fabric		Dimension	Test results fabric S/853	
<i>IEC 61482-2:</i>			S/853	
Dimensional change	lengthwise	%	-2,2	
	across	%	-1,2	
Limited flame spread			<i>lengthwise</i>	<i>across</i>
further flaming to top or sides			no	no
hole formation			no	no
flaming, melting debris			no	no
afterflame time		s	0	0
afterglow time		s	0	0
Tear strength	lengthwise	N	36	
	across	N	34	
Tensile strength	lengthwise	N	1082	
	across	N	615	

Arc thermal resistance requirements	Measure	Test results fabric S/853			
		08-DU1	08-DU2	08-DU4	08-DU5
class 1 / 4kA					
Burning time	visual	0 s	0 s	0 s	0 s
Hole formation	visual	no	no	no	no
Melting through to the inside	visual	no	no	no	no
Maximum temperature rise dT_{max} at the backside of the specimen	calorimeter 1	10,6 K	9,7 K	10,0 K	9,4 K
	calorimeter 2	8,9 K	9,4 K	9,7 K	8,6 K
Maximum time t_{max}	Computer data				
	calorimeter 1	18,5 s	14,7 s	14,7 s	19,5 s
	calorimeter 2	22,3 s	25,6 s	25,3 s	23,2 s
Comparison: allowed temperature rise to avoid burning 2nd degree (STOLL-values at time t_{max})		20,7 K	19,4 K	19,4 K	21,0 K
		21,9 K	22,8 K	22,7 K	22,1 K
Acceptance criteria		met	met	met	met

Test results refer to the delivered specimen. Test protocols and statistical information about test data can be viewed in the test house. This Test Report consists of 3 pages with 1 enclosure and should not be published in parts.


Dr.-Ing. Matthias Mägel
Head of the testing department



Certificado para un tejido comprobado con el ensayo Box-Test (ejemplo)

Certificado de prueba y de tejido con clase de protección contra arco eléctrico y requerimientos según CEI 61482-2

ZERTIFIZIERUNGSSTELLE PSA		 SÄCHSISCHES TEXTIL FORSCHUNGS INSTITUT e.V.
<p>Durch die Zentralstelle der Länder für Sicherheitstechnik (ZLS) akkreditierte Zertifizierungsstelle für Produkte im Sinne der EG-Richtlinie für Persönliche Schutzausrüstungen 89/686/EWG und des §9 Abs. 2 Gerätesicherheitsgesetz, Kenn-Nr. 0516</p>		
Certificate Technical type-examination No. Z 3709/XX-4791/XX		
Date: 01 January 2011		
Applicant:		
Manufacturer:		
Application of:	01 January 2011	
Test specimen: Type and designation:	Fabric  , Ref. S/853 87% cotton / 12% nylon / 1% antistat, approx. 340 g/m ²	
Intended use:	fabric for protective clothing against thermal hazards of an electrical arc	
Results of the technical type examination:	Test Report STFI No. 1083/XX of 01 January 2011 Certification Report STFI No. Z 3709/XX-4791/XX of 01 January 2011	
<p><u>This Certificate applies the suitability of tested fabric s/853 with essential requirements of document Council Directive 89/686/EEC. The fabric is suitable for using for protective clothing against thermal risk of an electrical arc and meets the requirements of Class 1 - 4kA according to EN 61482-1-2:2007.</u></p>		
<p>This Certificate is not a proof for norm conformity of protective clothing produced from it with regard to processibility and design. This is not an entitlement to use the CE- or GS-Mark. It is valid - in dependence on the validity of the test and certification foundations - by 01 January 2014. To renew the validity of the certificate is possible on application.</p>		
<p>This document consists of Certificate and Certificate Report with 3 pages and 2 enclosures.</p>		
 Dipl.-Ing.-Ok. Andreas Berthel Managing Director STFI e.V.	 Dipl.-Inform. Hendrik Beier Head of Certification Department Notified Body No. 0516	
<p><small>Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen des STFI e.V. und der ITI GmbH - The general terms of business of STFI e.V. and ITI GmbH are valid. Vorstandsvorsitzender Prof. Dr.-Ing. Hilmar Fuchs Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. Annaberger Str. 240 - 09125 Chemnitz, Germany Leiter der Zertifizierungsstelle Dipl.-Inform. Hendrik Beier Telefon +49 3 71 52 74-1 84 Telefax +49 3 71 52 74-1 80 E-Mail hendrik.beier@stfi.de www.stfi.de</small></p>		

Anexo 5

Pruebas de arco eléctrico de guantes y protectores faciales con el método de ensayo Box-Test

Pruebas de guantes

El montaje básico de ensayo Box-Test ha sido modificado como se muestra en la figura A5.1. Para el ensayo con guantes se emplean dos soportes paralelos con sensores. Un soporte sostiene la muestra; el calorímetro de ese soporte mide la energía incidente transmitida. El otro soporte se deja al descubierto de tal forma que en cada tiro el calorímetro mide simultáneamente la energía incidente directa.

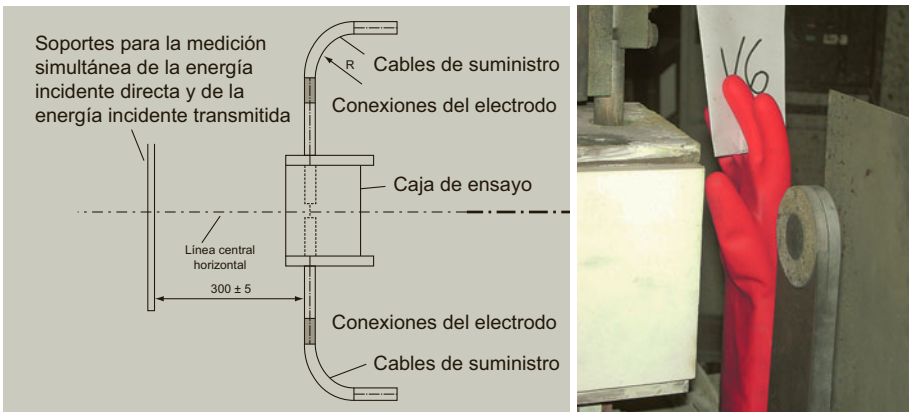


Fig. A5.1: Montaje del ensayo Box-Test para la prueba de guantes con soportes de guantes equipados con calorímetros

Para la prueba de guantes se puede emplear una clase de protección 3 adicional que caracteriza un mayor nivel de exposición al arco. Este nivel se alcanza mediante la reducción de la distancia entre el soporte (muestra, calorímetro) y el arco eléctrico a un valor $a = 150 \text{ mm}$ con el nivel de energía del arco de la clase 1. La clase de protección 3 contra el arco eléctrico es de interés debido a la distancia más corta al arco a la que se encuentran las manos o los guantes, respectivamente, durante las actividades laborales prácticas (en comparación con el cuerpo o la cara de las personas). En las figuras A5.2 y A5.3 se muestran ejemplos de los resultados de un ensayo.

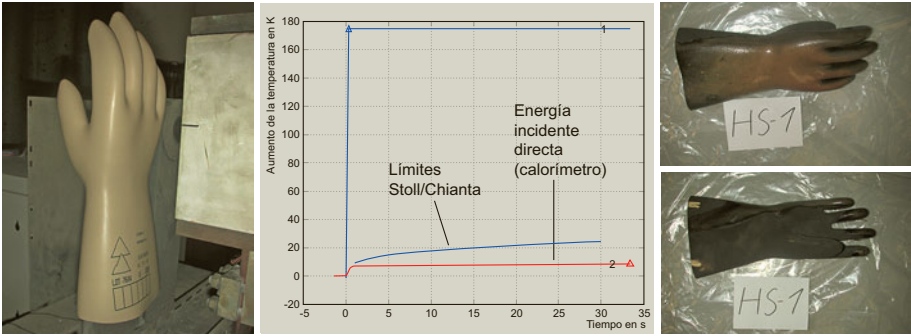


Fig. A5.2: Resultado del ensayo de un guante aislante de látex, clase de tensión 1, bajo las condiciones de ensayo de la clase de protección 3 contra el arco eléctrico (prueba aprobada)

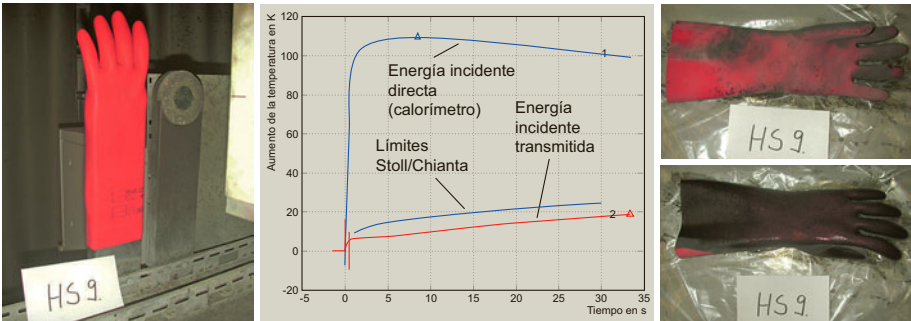


Fig. A5.3: Resultado del ensayo de un guante aislante de látex con revestimiento textil interior, clase de tensión 0, bajo las condiciones de ensayo de la clase de protección 2 contra el arco eléctrico (prueba aprobada)

Prueba de protectores faciales

Para la prueba de viseras se emplea una cabeza de prueba provista de varios calorímetros para la medición de la energía incidente transmitida (para la evaluación de las quemaduras de piel detrás de la visera).

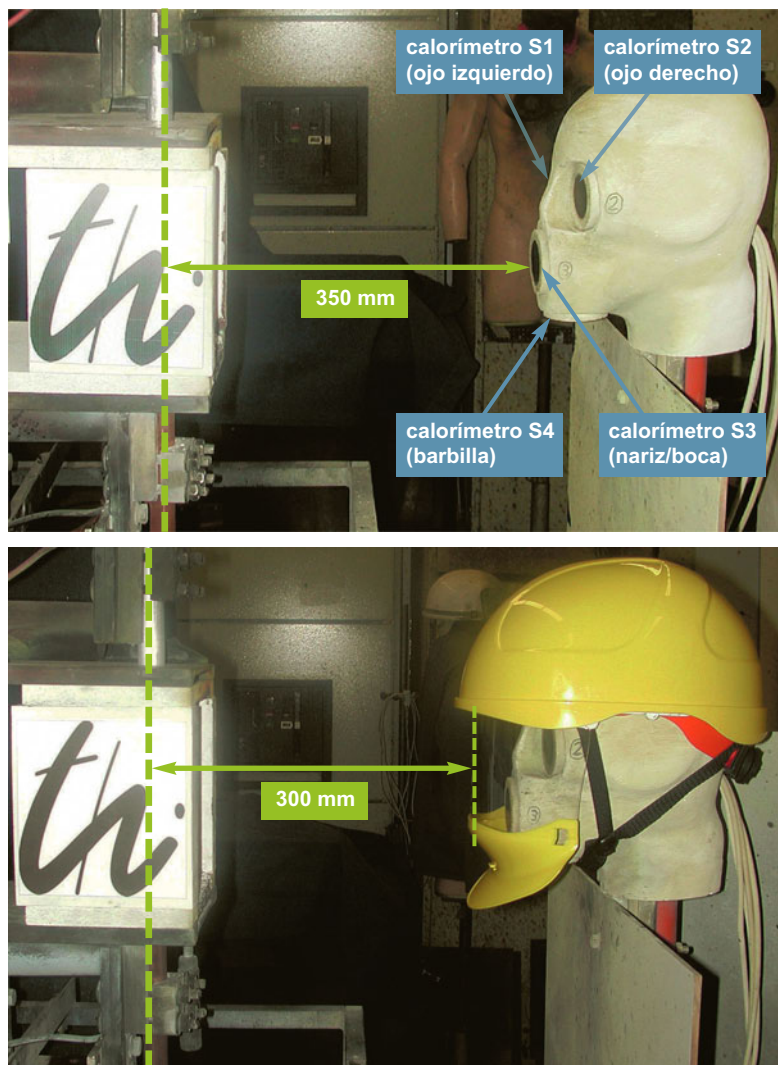


Fig. A5.4: Montaje del ensayo con cabeza de prueba para la prueba de protectores faciales

Los calorímetros miden los efectos del calor sobre las diferentes regiones de la cara. La posición más próxima (al eje del arco eléctrico) la tiene la región nariz/boca. Está colocada a una distancia de 350 mm centrada al eje horizontal y vertical del arco eléctrico. De gran importancia es también el calorímetro de la barbilla que indica la incidencia del calor en la parte baja de la cabeza. El montaje del ensayo, representado en la figura A5.4, es apropiado para evaluar el comportamiento y el efecto de las viseras en la posición estándar de uso debido a la fijación de las viseras a los cascos. Sin embargo con esta configuración no es posible probar el caso extremo en relación con la prueba de la resistencia del casco al arco eléctrico. Para conseguir el mayor efecto posible del arco sobre el casco éste deberá ser centrado también en el eje horizontal del arco en ensayos separados.

La figura A5.5 muestra un ejemplo de los resultados de una prueba de visera, clase 1.

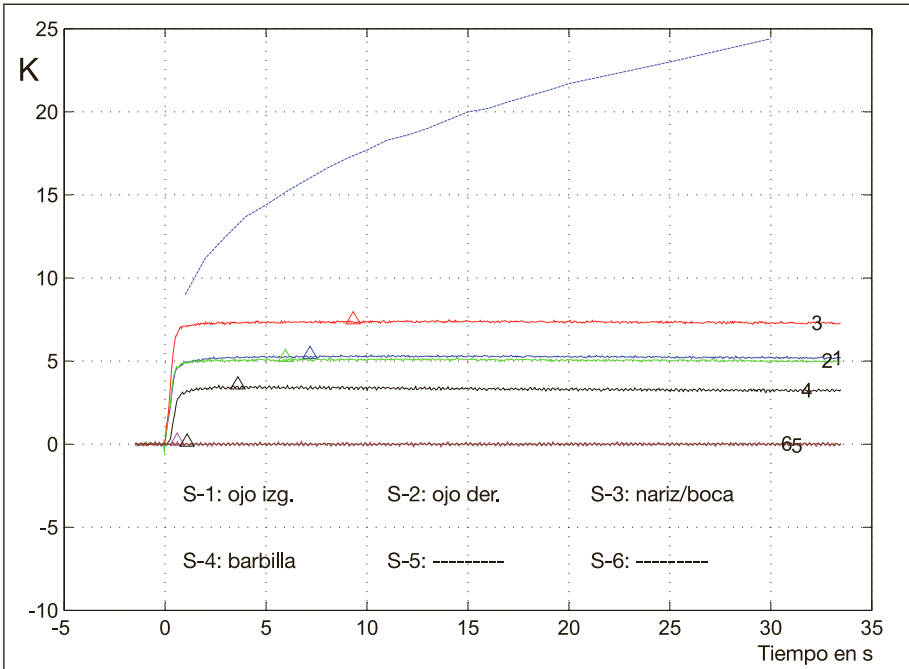


Fig. A5.5: Valores de medición de los calorímetros en un ensayo Box-Test de una combinación casco-visera, clase 1 (prueba aprobada)

Anexo 6

Algoritmo para la calculación del riesgo de arco eléctrico para la selección de EPP que ha sido probado con el método de ensayo Box-Test

A6.1 Aspectos generales

Tanto los procesos como los parámetros del arco eléctrico se sustraen generalmente de una calculación exacta. Relaciones no lineales muy complejas, interdependencias mutuas así como influencias que cambian fuertemente con el tiempo y que no pueden ser definidas impiden una evaluación exacta de manera práctica. El comportamiento externo de un arco eléctrico a evaluar es estocástico y está sujeto a dispersiones estadísticas muy fuertes. En principio la determinación de los parámetros del arco está reducida a una consideración empírica con un acercamiento mayor o menor a la realidad. Por razones de viabilidad a continuación se emplean cálculos empíricos básicos sencillos. Sin embargo, estos enfoques requieren de un conjunto de datos básicos de la red eléctrica, de la instalación eléctrica y de los dispositivos eléctricos de protección. En el algoritmo se le ofrece al usuario tres posibles pasos de análisis para determinar los valores de energía. Estos pasos están basados en diferentes datos de entrada y por lo tanto requieren de mayores esfuerzos para el análisis, pero también traen consigo una precisión diferenciada:

- **VE** – el uso de valores extremos para la consideración del peor de los casos abstrayéndose de aspectos específicos del sistema y cubriendo todas las posibles influencias, y deriva, eventualmente, en un margen de seguridad distinto en el caso bajo estudio
- **VG** – el uso de valores guías ahorra un análisis detallado de la instalación y cubre un gran número de casos prácticos
- **VD** – el uso de valores detallados teniendo en consideración los datos de la instalación para una estimación más exacta con mayores gestiones de cálculo como consecuencia.

La demanda de datos de entrada y las gestiones de cálculo aumentan mientras mayores sean los requerimientos de exactitud y con la abstención de los márgenes de seguridad. Las consideraciones del peor de los casos son útiles para los usuarios que no poseen informaciones o conocimientos detallados o para hacer estimaciones aproximadas de la protección requerida o de las medidas necesarias; ellas no presuponen conocimientos o experiencias detallados en la estimación de los riesgos del arco eléctrico. Debido a la poca precisión probable estas consideraciones pueden conducir, eventualmente, al resultado de que no se puedan encontrar soluciones prácticas para la protección sólo con el uso del EPP. En cuanto al uso de los valores

guías no es posible hacer una declaración de probabilidad y de exactitud de los resultados.

Experiencias y conocimientos adicionales acerca de los arcos eléctricos perturbadores y sus riesgos son esenciales para el enfoque detallado. Este enfoque es la alternativa más precisa. Puede ser recomendable, según las circunstancias, incluir en el trabajo de análisis a ingenieros cualificados y con experiencia en este campo o solicitar el apoyo de expertos en la evaluación de los riesgos del arco eléctrico.

A6.2 Pasos de trabajo del algoritmo

Partiendo de las condiciones específicas del puesto de trabajo se deben ejecutar los siguientes pasos:

Paso	Determinación/Procedimiento	Parámetro de resultado	Resultado
1	<p>Análisis de las condiciones de la red y de la instalación Tensión del sistema (Tensión nominal de la red)</p> <p>Análisis de la instalación eléctrica: Distancia entre los conductores (distancia entre los electrodos)</p>	<p>U_{rN}</p> <p>d</p>	
2	<p>Cálculo de la corriente de cortocircuito (según la norma CEI 60909) Valor máximo de la corriente Valor mínimo de la corriente Relación de impedancia</p>	<p>$I''_{k3p \max}$</p> <p>$I''_{k3p \min}$</p> <p>R/X</p>	
3	<p>Duración del arco eléctrico Atenuación de la corriente de falla: VD: k_B de acuerdo a [15] o VG: $k_B = 0.5$ Corriente mínima de falla: $I_{kLB} = k_B \cdot I''_{k3p \min}$</p> <p>Tiempo de corte: De la curva característica I-t del dispositivo de protección mediante I_{kLB}</p>	<p>k_B</p> <p>I_{kLB}</p> <p>t_K</p>	
4	<p>Energía prevista del arco eléctrico en el puesto de trabajo Capacidad del cortocircuito: $S''_k = \sqrt{3} \cdot U_{rN} \cdot I''_{k3p \max}$</p>	<p>S''_k</p>	

	<p>Potencia normalizada del arco: VD: k_P según [15] o VG: k_P según tabla A1.1 VE: $k_{Pmax} = 0.29 \cdot (R/X)^{0.17}$ (o Tab. A1.1)</p> <p>Potencia del arco eléctrico $P_{LB} = k_P \cdot S''_k$</p> <p>Energía del arco eléctrico $W_{LB} = W_{arc} = k_p \cdot S''_k \cdot t_k$</p>	K_P P_{arc} W_{arc}	
5	Distancia de trabajo	a	
6	Nivel de prueba estándar de la energía del arco eléctrico W_{arcP} en el Box-Test	W_{arcP1} W_{arcP2}	158 kJ 318 kJ
7	Nivel de protección del EPP W_{prot} Factor de transmisión VD: 1...2.4 según el volumen de la instalación VG: 1 VE: 1 Energía equivalente del arco eléctrico (nivel de protección) $W_{prot} = k_T \cdot \left(\frac{a}{300 \text{ mm}} \right)^2 \cdot W_{arcP}$	k_T W_{prot}	
8	Resultado Comparación: $W_{arc} ? W_{prot}$ EPP: $W_{arc} \leq W_{prot1}$ EPP: $W_{arc} \leq W_{prot2}$		Clase 1 Clase 2

A6.3 Ejemplos y estudio de casos

A6.3.1 Trabajo en el cuadro de distribución principal de baja tensión de una subestación transformadora

En un primer ejemplo se debe realizar un análisis de riesgos para trabajos en un cuadro de distribución de baja tensión de una subestación transformadora 20 kV/ 0,4 kV. Trabajos típicos en tensión son labores de conmutación como la colocación o el retiro de fusibles o la limpieza. Se supone que existe un estado de conmutación con sólo un transformador de alimentación. El transformador tiene una capacidad nominal de 400 kVA con una tensión de cortocircuito normalizada de 4 %. El disposi-

tivo de protección para la interrupción de la falla en el área del puesto de trabajo es un fusible transformador NH 400 kVA (400 V AC, característica operacional gTr) con la curva característica corriente-tiempo (I-t) según el diagrama en la figura A6.1.

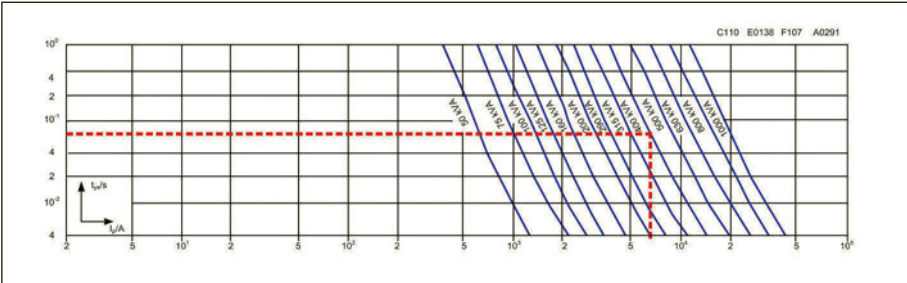


Fig. A6.1: Curva característica corriente-tiempo de los fusibles NH gTr 400 V AC

El análisis de riesgo se realiza sobre la base de los valores extremos (VE). Ésta es la consideración del peor de los casos que cubre todas las posibles influencias e incluye márgenes de seguridad. Siguiendo los pasos de A6.2 el resultado de los cálculos es:

Paso	Determinación/Procedimiento	Parámetro de resultado	Resultado
1	Análisis de las condiciones de la red y de la instalación Tensión del sistema (Tensión nominal de la red)	U_{rN}	400 V
	Análisis de la instalación eléctrica Distancia entre los conductores (distancia entre los electrodos)	d	No relevante
2	Cálculo de la corriente de cortocircuito (según la norma CEI 60909)		
	Valor máximo de la corriente (corriente prospectiva del cortocircuito)	$I''_{k3p \max}$	14.1 kA
	Valor mínimo de la corriente (corriente prospectiva del cortocircuito)	$I''_{k3p \min}$	12.7 kA
	Relación de impedancia	R/X	0.16
3	Duración del arco eléctrico		
	Atenuación de la corriente de falla:	k_B	

	VD: k_B de acuerdo a [15] o VG: $k_B = 0.5$ (también VE)		0.5
	Corriente mínima de falla: $I_{kLB} = k_B \cdot I''_{k3p\ min} = 0.5 \cdot 12.7\ kA = 6.35\ kA$	I_{kLB}	6.35 kA
	Tiempo de corte: De la curva característica I-t del fusible NH gTr 400 kVA según figura A6.1 con $I_{kLB} = 6.35\ kA$	t_k	0.072 s
4	Energía prevista del arco eléctrico en el puesto de trabajo Capacidad del cortocircuito: $S_k^* = \sqrt{3} \cdot U_{rN} \cdot I''_{k3p\ max} = \sqrt{3} \cdot 400\ V \cdot 14.1\ kA = 9.77\ MVA$	S_k^*	9.77 MVA
	Potencia normalizada del arco: VD: k_P según [15] o VG: k_P según Tab. A1.1 VE: $k_{Pmax} = 0.29 \cdot (R/X)^{-0.17}$ (or Tab. A1.1)	K_P	0.396
	Potencia del arco eléctrico $P_{LB} = k_P \cdot S_k^* = 0.396 \cdot 9.77\ MVA = 3.869\ MW$	P_{arc}	3.869 MW
	Energía del arco eléctrico $W_{arc} = k_P \cdot S_k^* \cdot t_k = 0.396 \cdot 9.77\ MVA \cdot 0.072\ s = 279\ kJ$	W_{arc}	279 kJ
5	Distancia de trabajo	a	300 mm
6	Nivel de prueba estándar de la energía del arco eléctrico W_{arc} en el Box-Test	W_{arcP1} W_{arcP2}	158 kJ 318 kJ
7	Nivel de protección del EPP W_{prot}		
	Factor de transmisión VD: 1...2.4 según el volumen de la instalación VG: 1 VE: 1	k_T	1
	Energía equivalente del arco eléctrico (nivel de protección) $W_{prot} = k_T \cdot \left(\frac{a}{300\ mm}\right)^2 \cdot W_{arcP} = 1 \cdot \left(\frac{300\ mm}{300\ mm}\right)^2 \cdot W_{arcP}$	W_{prot1} W_{prot2}	158 kJ 318 kJ
8	Resultado Comparación: $W_{arc} ? W_{prot}$ PPE: $W_{arc} = 279\ kJ > W_{prot1} = 158\ kJ$ PPE: $W_{arc} = 279\ kJ < W_{prot2} = 318\ kJ$		Clase 2

La energía prevista del arco en el puesto de trabajo tiene un valor máximo de 279 kJ. Para las actividades laborales contempladas se puede deducir que la distancia de trabajo a no será menor de 300 mm. Esa es la distancia mínima entre el torso y el arco eléctrico en una posición normal de trabajo de una persona. Como que también se han considerado las condiciones térmicas de transmisión para el peor de los casos el nivel de protección del EPP para ese lugar de trabajo (energía equivalente del arco) es igual al nivel de la energía del arco durante la prueba del PPE. Por lo tanto es necesario un EPP de la clase de protección 2 según el método Box-Test, el cual ofrece protección.

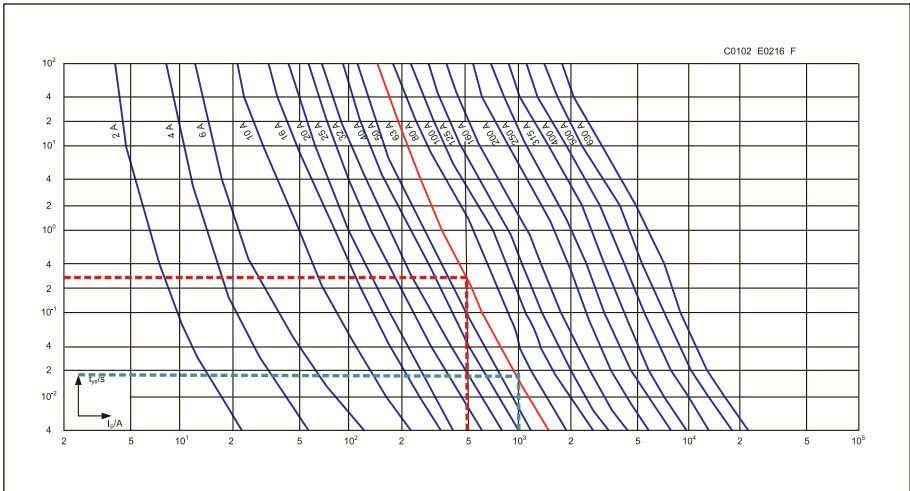


Fig. A6.2: Curva característica corriente-tiempo de los fusibles NH gG 400 V AC

A6.3.2 Trabajos en una instalación casera

Otro ejemplo lo constituyen los trabajos bajo tensión en la instalación casera después de los fusibles de la caja de conexión doméstica.

La instalación es alimentada por medio de una caja de conexión doméstica con una corriente nominal $I_N = 63 A$ y con una tensión $U_{rN} = 400 V$. Del cálculo del cortocircuito resulta una corriente prospectiva de cortocircuito $I''_{K3P} = 4 kA$. El suministro está protegido con un fusible NH gG 63 A.

Primeramente se determina el tiempo de corte del fusible. Ésto debe hacerse sobre la base de la corriente real de cortocircuito del arco eléctrico. Se fija el valor guía de

0,5 para el factor de atenuación de la corriente¹, lo que significa que la corriente del arco es sólo la mitad de la corriente prospectiva de corto circuito, o sea, 2 kA. De la curva característica del fusible (figura A6.2) se deduce un tiempo de corte t_k por debajo de 10 ms para una corriente de 2 kA. El fusible actúa como limitador de la corriente, por ello no es posible determinar un tiempo exacto de corte. Por razones de seguridad la duración del cortocircuito en esos casos se define como $t_k = 10$ ms.

La potencia normalizada del arco también se determina sobre la base de los valores guías para sistemas de baja tensión (0,22 a 0,27): se elige un valor $k_P = 0,25^2$. De acuerdo a la ecuación

$$W_{\text{arc}} = k_P \cdot \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I''_{k3P} \cdot t_k$$

$$\begin{aligned} W_{\text{arc}} &= 0,25 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 4 \text{ kA} \cdot 0,01 \text{ s} \\ &= 6,928 \text{ kJ} \end{aligned}$$

se prevee que la energía del arco sea de aproximadamente 6,9 kJ en el caso de que aparezca un arco eléctrico después de la caja de conexión doméstica.

En el próximo paso se determina el nivel de protección del EPP en el puesto de trabajo en cuestión (energía equivalente del arco eléctrico hasta la cual el EPP ofrece protección). En instalaciones domésticas se encuentran instalaciones de pequeña escala con paredes laterales, traseras y divisorias cuya geometría se asemeja a la de una caja, por lo tanto se parte de un factor de transmisión $k_T = 1^3$.

Como distancia de trabajo se toma $a = 300$ mm. Por consiguiente los niveles de protección son igual a los niveles de prueba: $W_{\text{arcP1}} = 158$ kJ (para clase 1) y $W_{\text{arcP2}} = 318$ kJ (para clase 2).

Finalmente de la comparación con la energía prevista del arco eléctrico $W_{\text{arc}} = 6,93$ kJ se deduce que el EPP de la clase 1 ofrece la protección necesaria.

En la tabla A6.1 se resumen los pasos de cálculo. Para el estudio de casos similares se han considerado también otras energías prospectivas de cortocircuito en el puesto de trabajo (2 kA, 1 kA).

1 Como se mencionó anteriormente, la experiencia demuestra que la corriente de atenuación en sistemas de baja tensión se encuentra entre 0,5 y 1,0 en la mayoría de los casos.

2 La experiencia demuestra de acuerdo con los espacios típicos entre conductores en instalaciones de baja tensión de consumo final que los valores guías de la potencia normalizada del arco están en este ámbito; $k_P = 0,25$ caracteriza muy bien la mayoría de estos casos.

3 El valor de k_T para sistemas abiertos es de 2,4. Prácticamente esto significa que el EPP, en el caso de que ocurra un arco abierto, estará expuesto en el lugar de trabajo a una energía térmica del arco 2,4 veces menor (en comparación con la construcción tipo caja estrecha).

Puesto de trabajo	Después de las cajas de conexión doméstica		
Datos eléctricos:			
U_{nN}	400 V		
I_N	63 A		
I''_{k3p}	4 kA	2 kA	1 kA
S''_k	2.771 MVA	1.386 MVA	0.693 MVA
Dispositivo de protección	Fusible NH 63 A gG		
Factor de atenuación de la corriente k_B	0.50		
Corriente de falla $I_{kLB} = k_B * I''_{k3}$	2 kA	1 kA	0.5 kA
Tiempo de corte de la curva característica corriente-tiempo con I_{kLB} (Fig. A6.2) t_k	10 ms	18 ms	300 ms
Potencia normalizada del arco k_p (LV: 0,22 ... 0,27)	0.25		
Energía prevista del arco $W_{arc} = k_p * 1.73 * U_{rN} * I''_{k3p} * t_k$	6.93 kJ	6.24 kJ	51.96 kJ
Determinación de la energía equivalente del arco	Clase 1	Clase 2	
Nivel de prueba de la energía del arco Factor de transmisión k_T $k_T = 1$ para pequeños compartimientos o paredes laterales y traseras estrechas $k_T = 2.4$ para arcos eléctricos abiertos	158 kJ 1	318 kJ	
Distancia de trabajo a a las partes activas	300 mm		
Nivel de protección del EPP en el puesto de trabajo $W_{prot} = k_T * (a/300 \text{ mm})^2 * W_{arcP}$	158 kJ	318 kJ	
Decisión para el EPP $(W_{arc} \leq W_{prot})$	6.93 kJ < 158 kJ Clase 1	6.24 kJ < 158 kJ Clase 1	51.96 kJ < 318 kJ Clase 1

Tab. A6.1: Cálculo del riesgo de arco eléctrico para instalación doméstica (variantes)

Anexo 7

Matriz de actividades laborales en instalaciones de baja tensión y los EPP que para ello se requieren

Tipo de instalación* Actividad laboral*	Instalaciones de medición, control y regulación con fusibles hasta 16 A	Instalaciones de control de la potencia o la energía y contadoras con fusibles hasta 100 A	Instalaciones para inmuebles con fusibles hasta 63 A	Cables, tableros de control e instalaciones de conmutación	Líneas aéreas
Aproximación de detectores de tensión y comparadores de fase	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco
Aproximación de dispositivos de prueba, de medición o de ajuste	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco
Colocación y cambio de cartuchos de fusibles NH sin haber protección contra el contacto directo	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco
Trabajos de pruebas para identificación y localización de la falla en circuitos eléctricos auxiliares	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	-

Anexo 7

Cheques de funcionamiento de aparatos e instalaciones poniéndolos en servicio y verificando en dependencia de la energía del arco	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco
Trabajos de control, mantenimiento y sustitución	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco
Trabajos de conmutación según las 5 reglas de oro	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco
Trabajos en tensión como conexión, montaje y desmontaje, lubricación, recubrimiento y limpieza**	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco	Clase 1 o 2 en dependencia de la energía del arco

* válido para instalaciones eléctricas en sistemas de baja tensión (tensiones nominales U_N hasta 1000 V AC)

** estos trabajos incluyen montaje de una derivación en T para una conexión doméstica, montaje y desmontaje de fusibles individuales en tiras o bloques y de fusibles seccionadores-interruptores en cajas de distribución de cables, sustitución de contadores y relojes de conmutación, bloqueo de instalaciones de clientes, trabajos de montaje para la localización de averías en circuitos auxiliares, puenteo o by-pass en circuitos parciales, mantenimiento en instalaciones eléctricas, recubrimiento de conductores o líneas de baja tensión no aislados.

Símbolos empleados

a	mm	distancia de exposición, distancia de trabajo
ATPV	cal/cm ² o kJ/m ²	valor de rendimiento térmico ante un arco (Arc Thermal Performance Value)
c _p	Ws*m ² /kg*K	calor específico
d	mm	distancia entre los electrodos
dT _{max}	K	valor máximo de temperatura (aumento máximo de temperatura)
E _{BT50}	cal/cm ² o kJ/m ²	energía incidente de rotura (valor 50%)
E _i	kJ/m ² o cal/cm ²	energía incidente
E _{i0}	kJ/m ² o cal/cm ²	energía incidente directa
E _{it}	kJ/m ² o cal/cm ²	energía incidente transmitida
f _T		función de transmisión
I'' _k	A	corriente prospectiva subtransitoria de cortocircuito (valor eficaz)
I'' _{k3p}	A	corriente prospectiva trifásica de cortocircuito (subtransitoria)
I'' _{k3pmax}	A	corriente prospectiva trifásica máxima de cortocircuito (subtransitoria)
I'' _{k3pmin}	A	corriente prospectiva trifásica mínima de cortocircuito (subtransitoria)
I _{kLB}	A	corriente real de cortocircuito del arco eléctrico (corriente de falla del arco eléctrico)
i _{LB}	A	corriente del arco eléctrico, valor instantáneo
I _N	A	corriente nominal del fusible
k _B		factor de atenuación de la corriente
k _P		potencia normalizada del arco
k _{Pmax}		valor máximo de la potencia normalizada del arco
k _T		factor de transmisión
k _U		factor de tensión
m	kg	masa
P _{arc} = P _{LB}	kW	potencia activa del arco
R	Ohm	resistencia (resistencia de impedancia de la red)
R/X		relación de impedancia, relación resistencia/ reactancia
S'' _k	MVA	capacidad de cortocircuito
t	s	tiempo
t _{arc} = t _k	s	duración del arco, duración del cortocircuito (tiempo de corte)

Símbolos empleados

t_{\max}	s	tiempo hasta el alcance de la temperatura máxima, período de tiempo de transmisión de calor
U_B	V	tensión del arco eléctrico (valor medio)
U_{LB}	V	tensión del arco eléctrico (valor instantáneo)
$U_{rN} = U_n$	V	tensión nominal de la red
$W_{\text{arc}} = W_{LB}$	kJ	energía del arco eléctrico
$W_{\text{arcP}} = W_{LBP}$	kJ	energía del arco de la clase de protección contra el arco, nivel de prueba
W_{prot}	kJ	energía equivalente del arco, nivel de protección
X	Ohm	reactancia inductiva, (reactancia de impedancia de la red)
x_i		parámetro de influencia



AISS Comité para la Electricidad

c/o Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse

Gustav-Heinemann-Ufer 130 | 50968 Köln | Germany

Tel.: +49 (0)221 3778-6007 | Fax: +49 (0)221 3778-196007

E-Mail: electricity@bgetem.de

www.issa.int/prevention-electricity