

## Selección de Indumentaria de Protección para riesgo de Arco Eléctrico, basada en el método de "Box Test"

Dias, Ricardo, Arrojo, Carlos. D., Nastta, Hernán A.,  
Herlein, Matías. E., Scaramutti José C.

UIDET-LEME - Ensayos y Mediciones Eléctricas  
Depto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería (UNLP)  
Calle 49 y 116 - (1900) La Plata, Bs. As.  
leme@ing.unlp.edu.ar

**Palabras clave:** Arco Eléctrico, Riesgo Eléctrico, EPP.

### 1. Introducción

Todo evento de arco eléctrico ("Arc Flash") que se origine inesperadamente a partir de un cortocircuito en algún punto de una dada instalación, puede poner en riesgo a cualquier persona que desarrolle tareas en sus vecindades.

Los recaudos que deben tomarse en un sistema eléctrico, para evitar que se produzcan contingencias que den lugar a que un operador quede expuesto a un arco eléctrico, son conocidos. Sin embargo, la realidad demuestra que tal hecho se da en muchas oportunidades, sea por accidente, negligencia o por la falla de alguno de los equipos involucrados.

Los posibles efectos que suelen acompañar a un arco eléctrico son múltiples: térmicos (con eventual desprendimiento de partículas de metal incandescente), sonoros, emisión de rayos ultravioleta, presión, etc., si consideramos sólo los de naturaleza física, sin pretender abarcar otros, no menos importantes, como pueden ser los psicológicos. En este punto, vale la pena remarcar, que en el alcance de este artículo estarán contempladas solo las consecuencias térmicas del mismo.

Los Elementos de Protección Personal (EPP) jugarán un rol fundamental para morigerar las consecuencias de un arco eléctrico sobre las personas. Sin embargo, su elección no suele ser trivial y requiere de análisis previos, algunos de los cuales se pretende desarrollar en este texto. Para cada instalación potencialmente riesgosa, será menester evaluar las condiciones locales en relación con la generación de posibles arcos eléctricos.

Es esencial tomar conciencia de la gran importancia que tiene que toda persona que efectúe tareas de montaje, mantenimiento, reparación u operación de equipamiento en instalaciones eléctricas de potencia considerable, disponga de la indumentaria adecuada, la que deberá estar cuidadosamente elegida y probada.

Antes de entrar de lleno en los contenidos centrales de este artículo, parece conveniente hacer algunos comentarios respecto de la normativa para el ensayo de Indumentaria de Protección utilizada ante riesgos de arco eléctrico. Las normas internacionales actualmente más difundidas relacionadas con el tema son las de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC Standard 61482-1-1 [1], IEC Standard 61482-1-2 [2] e IEC Standard 61482-2 [3], y la de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM F1959/F1959M [4].

El ensayo descrito en las normas IEC 61482-1-1 y ASTM F1959/ F1959M contempla la realización de un "arco abierto". Estas normas están basadas en una práctica muy utilizada en América del Norte, y permiten, para un dado material, determinar el parámetro conocido como ATPV (Arc Thermal Performance Value o Valor de Protección Térmica contra el Arco). El valor de ATPV es muy empleado en los Estado Unidos de Norteamérica y Canadá, para

categorizar materiales y prendas de protección según diferentes grados de riesgo de exposición a un arco eléctrico en cada lugar de trabajo [5].

En cuanto al ensayo contemplado en la norma IEC 61482-1-2, sigue la metodología conocida como “arco confinado” en una caja de yeso o “Box Test”. Establece dos clases de protección (1 ó 2) para materiales o prendas, de acuerdo con sendos valores de la corriente de arco prevista.

En tanto, la norma actualmente vigente en nuestro país es la IRAM 3904 [6], prácticamente idéntica a la citada IEC 61482-1-2, que es justamente la referencia para el estudio de la selección de Indumentaria de Protección que se detalla más adelante.

Como comentario general, se puede decir que existe un gran consenso internacional en cuanto a la evaluación cualitativa de los resultados de las pruebas de diferentes materiales a emplearse ante riesgos de exposición al arco eléctrico. Sin embargo, no puede decirse lo mismo respecto de los criterios para una evaluación cuantitativa. La existencia de diversos parámetros de ensayo hace extremadamente difícil la comparación de los resultados obtenidos para un mismo material, empleando diferentes métodos de prueba. No es raro ver cómo suelen efectuarse comparaciones teniendo en cuenta solamente, por ejemplo, el valor de la corriente de arco “prevista” (8 kA en el ensayo de ATPV y 4 kA ó 7 kA en el ensayo en caja), soslayando considerar otros parámetros sumamente importantes, como pueden ser la distancia entre el material en prueba y el arco eléctrico, la duración del mismo, o el valor verdadero de la corriente durante la ocurrencia del arco, que también definen la energía de ensayo, y por ende, los niveles de protección de un dado material o prenda. [7] [8] [9]

A este punto, es conveniente hacer hincapié en que los dos métodos de ensayo previstos actualmente por la IEC, “arco abierto” y “arco confinado”, contemplan montajes, configuraciones, tipos de arco eléctrico, parámetros, procedimientos de prueba y requisitos de aprobación muy diferentes; razón por la cual puede afirmarse que los resultados obtenidos no son físicamente comparables, ni pueden ser transformados unos en otros matemáticamente. La indumentaria de protección debe ser valorada y seleccionada “solo de acuerdo con alguno de los dos métodos”, es decir que los mismos no deben combinarse. [7]

En consonancia con lo dicho en el párrafo anterior, la norma IEC 61482-2 [3], que establece los requisitos generales que debe cumplir la indumentaria de protección a utilizar ante riesgo de exposición al arco eléctrico, expresa claramente que, si bien ambos métodos poseen validez reconocida por la Comisión Electrotécnica Internacional para la evaluación de tales elementos, cada uno ellos suministra información diferente no comparable directamente, y deja librada a los usuarios la elección del método de ensayo.

## 2. La evaluación de Riesgo de Arco Eléctrico

La denominación habitual de “Evaluación de Riesgo de Arco Eléctrico”, apunta especialmente a la protección de las personas que trabajan en zonas donde es posible que ocurran eventos de arco eléctrico. Es el paso previo, indispensable, a la hora de pretender seleccionar los EPP adecuados. Este concepto está ampliamente tratado en la bibliografía, buena parte de la cual es de acceso libre, por lo cual no se pondrá en discusión aquí su pertinencia. Más bien, se buscará proporcionar una visión general sobre el alcance y los diferentes enfoques posibles mencionados en normas nacionales e internacionales, considerando estándares y legislación de la Unión Europea y de los Estados Unidos de Norteamérica, que se utilizan como referencias en todo el mundo [10].

La citada evaluación de riesgo apunta especialmente a la determinación de la condición y cantidad de calor a los que pueden verse expuestos los trabajadores en riesgo. Estas variables suelen verse representadas generalmente a través de parámetros tales como la

Energía de Arco [kJ] o la Energía Incidente [ $\text{cal}/\text{cm}^2$ ] o [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ], y en un punto de una dada instalación eléctrica dependen, al menos, de:

- la tensión nominal del sistema,
- la potencia o la corriente de cortocircuito,
- la distancia entre el eventual arco y la persona,
- y la duración de la corriente de falla (dispositivos de protección).

En estas condiciones, los pasos a seguir para una correcta Selección de la Indumentaria de Protección Personal para riesgo de Arco Eléctrico serían, sucintamente:

- estimar la Energía que puede provenir de un eventual Arco Eléctrico en ciertos puntos de una dada instalación;
- caracterizar el tipo de Indumentaria necesaria para proteger al personal que desarrolle tareas en zonas con riesgo de exposición a ese Arco Eléctrico.

El presente punto de este artículo se ocupará entonces de desarrollar el primero de los ítems citados arriba, en tanto que en el apartado siguiente se ocupará del segundo.

En Estados Unidos de Norteamérica la evaluación de riesgo de arco eléctrico es obligatoria desde el año 2014, cuando la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) promulgó una revisión de las normas generales de la industria y de la construcción para trabajar en instalaciones de generación de energía eléctrica, transmisión y distribución (29 CFR 1910.269 and 29 CFR, Part. 1926, Subpart V: Flame Resistant Clothing and Arc-rated Protection, respectivamente). [10] [11]

A nivel de la Unión Europea, en cambio, al momento de esta publicación no se conoce legislación que obligue a la realización de una evaluación de riesgo de arco eléctrico en zonas expuestas. Sin embargo, existen antecedentes que denotan que esto, además de ser práctica habitual, se halla en avanzado estado de estudio y aplicación. Como muestra de ello se puede mencionar la norma EN 50110-1, que ha sido adoptada como propia por varias naciones de la Unión [12]. Esta norma establece requisitos de seguridad a cumplir durante la operación de instalaciones eléctricas y también cuando se efectúen tareas en sus proximidades, siempre que exista riesgo eléctrico. Otros valiosos documentos que se pueden mencionar en este apartado, y sobre los que avanzaremos más adelante, son: la “Guía para la selección de equipamiento de protección personal contra los efectos térmicos de un arco eléctrico” de la Asociación Internacional para la Seguridad Social (ISSA, por sus siglas en inglés) [7], y la “Guía para la selección de elementos de protección personal para trabajos eléctricos”, BGI/GUV-I 5188 E [13], de la Asociación Alemana para los Seguros de Accidentes (DGUV, por sus siglas en alemán) [13].

Un rasgo distintivo que se desprende de la comparación entre los dos métodos citados, y que suele ser motivo de confusiones, es el de las magnitudes en las que se basan los cálculos para la evaluación de riesgo: mientras la práctica norteamericana hace hincapié en la “energía incidente”, expresada en [ $\text{cal}/\text{cm}^2$ ] ó [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ], en el método propuesto por la guía europea BGI/GUV-I 5188 se utiliza la “energía de arco”, expresada en [kJ].

De esta manera, según lo dicho hasta aquí, se ve que a nivel global conviven dos métodos para evaluar los riesgos asociados con un arco eléctrico:

- uno de ellos relacionado con la citada legislación norteamericana y basado fundamentalmente en los preceptos y recomendaciones de la Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, NFPA 70E [5] y en la Guía para realizar los cálculos de riesgo de arco eléctrico IEEE 1584 [14];
- y otro, desarrollado en relación con la práctica de la Unión Europea, basado en la Guía BGI/GUV-I 5188 E, antes mencionada.

A este punto, parece pertinente relacionar los dos métodos recientemente mencionados, con las citas efectuadas más arriba en este artículo, respecto de la normativa para el ensayo de Indumentaria de Protección utilizada ante riesgos de arco eléctrico. Evidentemente, la práctica usual norteamericana está asociada con los resultados obtenidos en los ensayos de “arco abierto”, realizados según las normas IEC 61482-1-1 o ASTM F1959/F1959M, en tanto que el método de raíz europea considera los ensayos de “arco confinado” (“Box Test”), realizados de acuerdo con la norma IEC 61482-1-2.

Así, dado que según se anticipó, la norma actualmente vigente en nuestro país es la IRAM 3904, y es prácticamente idéntica a la citada IEC 61482-1-2, el método propuesto en esta publicación para la selección de Indumentaria de Protección se basará en la Guía BGI/GUV-I 5188 E.

Si bien como se verá más adelante, el método de “Box Test” no ofrece limitaciones respecto de los niveles de tensión del sistema para los cuales se deba seleccionar la indumentaria, cubre especialmente todos los requisitos prácticos para instalaciones de baja tensión, siendo este el ámbito en el que ocurren la mayoría de los accidentes relacionados con fallas de arco. [7] [13][15]

### 3. La Selección de la Indumentaria de Protección adecuada

La participación en el Subcomité de Indumentaria de Protección del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) y las múltiples consultas recibidas durante los últimos años, nos han mostrado que, en nuestro país, la selección de la indumentaria adecuada para la protección contra los efectos térmicos de un arco eléctrico es motivo de preocupación entre los diferentes actores involucrados. Quizá haya colaborado en este aspecto, la poca difusión que ha tenido históricamente en Argentina la utilización de criterios basados en el método de “Box Test”, de gran impacto práctico a partir de la obligatoriedad de la certificación de este tipo de indumentaria desde el año 2016 [16] [17].

Es claro que la salud e inclusive la vida de cualquier persona que se halle en las cercanías de un arco eléctrico, pueden estar en peligro debido a múltiples factores relacionados con el evento (temperatura, presión, sonido, partículas de material incandescente, etc.); sin embargo, uno de los riesgos personales más salientes, es el de los efectos térmicos del arco. En este sentido, es oportuno remarcar que la metodología establecida en la guía BGI/GUV-I 5188 brinda asistencia en la selección de la indumentaria adecuada, justamente para la protección contra los efectos térmicos de un arco eléctrico.

En este sentido, vale mencionar que los preceptos de la guía BGI/GUV-I 5188 ya han sido incorporados a programas de cálculo específicos tales como ETAP 19.0, que dispone de un módulo específico para análisis de arco eléctrico [18], el desarrollado por BSD-Dresden [19] y el realizado por DigSILENT, que también incorpora una herramienta para análisis de “arc flash” [20].

A continuación, se detalla sucintamente el procedimiento propuesto por la Guía BGI/GUV-I 5188 E, aplicable a instalaciones de corriente alterna (50 Hz) de más de 50 V y, como ya se anticipó, basado en la técnica de “Box Test”.

En primera instancia describe un método simplificado para determinar la “Energía Eléctrica de Arco” ( $W_{arc}$ ) en el lugar de interés. Para ello, se toman en cuenta factores relacionados con las características eléctricas básicas de la red eléctrica (tensión de servicio, relación X/R, potencia de cortocircuito, distancia entre fases o partes activas) y los tiempos de actuación de los dispositivos de protección (fusibles, interruptores, etc.); y también, un factor de corrección ( $k_p$ ) que tiene en cuenta la reducción de la corriente de cortocircuito real en el lugar de la falla, respecto del valor calculado a partir del dato de la potencia de cortocircuito.

En segundo lugar, se determina la “Energía Eléctrica de Protección Térmica contra el Arco Eléctrico” ( $W_{arcP}$ ) en el sitio bajo estudio, para cada una de las Clases (1 o 2) contempladas en la norma IRAM 3904 [6], según el método de “Box Test”. Para el cálculo se toman como base las energías de arco dadas por la norma para cada una de las Clases y se las afecta por dos coeficientes, uno de ellos,  $k_T$ , tiene en cuenta la configuración física o geométrica del lugar de interés, donde podría ocurrir el evento de arco a analizar, y otro que es cuadráticamente proporcional a la relación entre la eventual distancia al arco de la persona afectada y los 300 mm asociados con la disposición para el ensayo de “Box Test” de la norma citada. De esta forma, se llegan a determinar dos valores de “Energía Eléctrica de Protección Térmica contra el Arco Eléctrico”,  $W_{arcP1}$  y  $W_{arcP2}$ , uno por cada una de las Clases de indumentaria, 1 ó 2, respectivamente.

Luego, la elección de la clase de indumentaria de protección se hará teniendo en cuenta que siempre debe cumplirse que la “Energía Eléctrica de Arco” ( $W_{arc}$ ) calculada para el lugar de interés sea menor o igual que la “Energía Eléctrica de Protección Térmica contra el Arco Eléctrico”,  $W_{arcP1}$  o  $W_{arcP2}$ .

Para los casos en los cuales se obtenga como resultado que ni siquiera el uso de indumentaria de Clase 2 brinda suficiente protección contra los efectos térmicos de un eventual arco eléctrico, la guía BGI/GUV-I 5188 propone algunas recomendaciones de orden práctico, entre las cuales se pueden mencionar el ajuste (disminución) de los tiempos de actuación de las protecciones, el aumento de la distancia de trabajo (mediante el uso de herramientas especiales, pértigas, etc., por ejemplo) o, finalmente, trabajar sin tensión eléctrica en el sistema.

Sin perjuicio de que la selección de la Indumentaria de Protección se haga concienzudamente, aplicando alguno de los procedimientos ampliamente avalados propuestos hasta aquí, nunca se debe perder de vista que el EPP debe ser la última herramienta de seguridad; antes deberán tomarse todas las medidas de protección posibles para evitar o minimizar el riesgo, tanto de tipo técnico como organizacionales. Ejemplo de ellas son las capacitaciones o entrenamientos periódicos de todo el personal que desarrolle tareas en entornos riesgosos y el adecuado etiquetado de las distintas zonas de la instalación. El análisis de riesgo de arco eléctrico no cubre todos los aspectos de seguridad, y la selección correcta de los EPP solo podrá asegurar, en buena parte de los casos, que no se produzcan quemaduras de segundo grado en la piel.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que solo se ha contemplado la selección de indumentaria para la protección del torso y eventualmente las piernas, no contándose aún con normas o requisitos precisos armonizados internacionalmente, para la evaluación de otros medios de protección corporal efectiva contra un arco eléctrico, tales como guantes o protectores faciales. [7] [13]

#### 4. Conclusiones

La selección de Indumentaria de Protección contra los efectos térmicos de un arco eléctrico (“Arc Flash”) basada en el método de “Box Test”, ha estado escasamente difundida en nuestro país hasta hace pocos años. Sin embargo, la obligatoriedad de su certificación a partir del año 2016, siguiendo los requisitos de la norma IRAM 3904, ha despertado sumo interés en usuarios, fabricantes, importadores, etc., que directa o indirectamente están relacionados con la utilización de este tipo de indumentaria. Disponer entonces de un procedimiento acorde a los requisitos locales, pero con el respaldo de una sólida experiencia internacional, como es el caso de la guía europea BGI/GUV-I 5188 E, sin duda resulta sumamente valioso. Por otra parte, la incipiente experiencia adquirida en la utilización del método propuesto a casos vernáculos, ha demostrado su aplicabilidad en relación con la

normativa Argentina sobre el tema. Con estos antecedentes, se ve propicio continuar instando a su empleo a nivel local, a fin de recabar experiencia en distintos escenarios (instalaciones de diferentes niveles de tensión, potencias de cortocircuito, disposiciones físicas de sus componentes, etc.), que redunden en una más certera selección de la indumentaria en cuestión.

## 5. Referencias

- [1] International Standard IEC 61482-1-1, "Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 1-1: Test methods. Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV and/or EBT) of clothing materials and of protective clothing using an open arc, Edition 1.0, 2009-05.
- [2] International Standard IEC 61482-1-2, "Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 1-2: Test methods. Method 2: Determination of arc protection class of material and clothing by using a constrained and directed arc (box test)", First edition, 2007-01.
- [3] International Standard IEC 61482-2, "Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 2: Requirements". Edition 1.0, 2009-04.
- [4] ASTM F1959/F1959M, "Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing", ASTM International, 2006.
- [5] National Fire Protection Association, NFPA 70E, "Standard for Electrical Safety in the Workplace", edition 2015.
- [6] Norma Argentina IRAM 3904, "Indumentaria de protección. Requisitos y métodos de ensayo de materiales y prendas utilizados ante riesgo de exposición al arco eléctrico", segunda edición, 2019-12-05.
- [7] Asociación Internacional para la Seguridad Social (ISSA), Comité Electricidad, Gas y Agua, "Guía para la selección de equipamiento de protección personal contra los efectos térmicos de un arco eléctrico", Edición 2011.
- [8] A. M. Graham, M. Hodder, G. Gates, "Current Methods for Conducting an Arc Flash Hazard Analysis", Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting, 3-7 Oct. 2004.
- [9] H. Hoagland, "Arc-Flash PPE Research Update", IEEE Transactions on Industry Applications, May/June 2013.
- [10] B. Stacho, J. Veleba and J. Dudek, "Arc Flash Risk Assessment. Overview of scope and different approaches in the US and in the EU", 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2019.
- [11] Electric Power Generation, Transmission and Distribution Standard 29 CFR 1910.269 and 29 CFR, Part 1926, Subpart V: Flame Resistant Clothing and Arc-rated Protection.
- [12] Norma Española UNE-EN 50110-1, "Explotación de instalaciones eléctricas. Parte 1: Requisitos generales", febrero de 2006.

- [13] German Social Accident Insurance, DGUV, BGI/GUV-I 5188 E, “Thermal hazards from electric fault arc. Guide to the selection of personal protective equipment for electrical work”, October 2012.
- [14] Institute of Electrical and Electronics, Standard 1584, “Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations”, edition 2002, Amendment 1/2004, Amendment 2/2011
- [15] M. Mehlem, “Guide to the selection of personal protective equipment against the thermal hazards from electric fault arc according to BGI/GUV-I 5188: Method and first experiences in use.”, ICOUM 2014, 11th International Conference on Live Maintenance, 21-23 May 2014, Budapest, Hungary.
- [16] Resolución Nro. 896/1999, “Requisitos esenciales que deberán cumplir los equipos, medios y elementos de protección personal comercializados en el país”, Secretaría de Industria, Comercio y Minería de la Nación Argentina.
- [17] Disposición Nro. 182-R/2016, “Reconocimiento del LEME de la Facultad de Ingeniería (UNLP) para la realización de ensayos en aplicación del régimen de certificación obligatoria, según la Resolución Nro. 896/99 (S. I. C y M. N.) de Indumentaria de protección contra riesgos eléctricos”, Dirección Nacional de Comercio Interior, Ministerio de Producción de la Nación Argentina.
- [18] ETAP 19.0, Software para Sistemas Eléctricos de Potencia, Módulo para Análisis de Arco Eléctrico (<https://etap.com/es/product/arc-flash-software>).
- [19] BSD-Dresden Arc Flash Software (<https://www.bsd-dresden.de/en/bsd-arc-flash-software.html>).
- [20] DlgSILENT PowerFactory, Arc-Flash Analysis tool (<https://www.digsilent.de/en/arc-flash-analysis.html>).