

IMPLEMENTACIÓN EN ARGENTINA DEL ENSAYO DE ARCO ELÉCTRICO SOBRE INDUMENTARIA DE PROTECCIÓN

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

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

1. INTRODUCCIÓN

Entre los numerosos riesgos a los que se ven sometidos los trabajadores que desarrollan actividades con equipos eléctricos, se encuentra la exposición a arcos eléctricos; en particular los que pueden originarse por cortocircuitos inesperados en algún punto de la instalación.

Si bien son conocidos 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, la realidad muestra que tal hecho se da en muchas oportunidades, sea por accidente, negligencia o por la falla de alguno de los equipos involucrados. Vale la pena remarcar, que la consideración anterior supone, por supuesto, que todo el personal que desarrolla tareas en ese tipo de entornos, de por sí riesgosos, posee capacitación y entrenamiento adecuados.

La falla de un equipo eléctrico en servicio va, en general, acompañada de un arco (p. e. la falla del aislamiento), pero otros hechos, como la caída de una herramienta sobre barras a distinto potencial, también puede generar un arco eléctrico. El producto de ese arco puede ser expedido hacia el lugar donde se encuentra el operario, por lo cual es necesario que el mismo se encuentre protegido con indumentaria adecuada.

Los posibles efectos que pueden acompañar a un arco eléctrico son múltiples: térmicos (con eventual desprendimiento de partículas de metal incandescente), sonoros, emisión de rayos ultravioletas, 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 casi exclusivamente las consecuencias térmicas del mismo.

En un arco eléctrico se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 5.000 °C, y durante su formación, parte del metal de los electrodos se evapora e ioniza; el aumento de la corriente origina a su vez un aumento de temperatura, que conduce a la formación de un plasma entre los electrodos. [1]

Entonces, entre los elementos que deberán contribuir más radicalmente a morigerar las consecuencias de un arco eléctrico sobre las personas, se destaca sin duda la ropa que vistan en el momento en que ocurra la contingencia o, utilizando una terminología más continente, todos los Elementos de Protección Personal (EPP) que posea en ese instante.

Es esencial tomar conciencia de la gran importancia que tiene que toda persona que efectúe tareas de montaje, mantenimiento, reparación u operación de equipamiento e instalaciones eléctricas de potencia considerable, disponga de la indumentaria adecuada, la que deberá estar cuidadosamente elegida y probada. El conjunto de propiedades y requerimientos que deben cumplir estos elementos de protección personal, y los correspondientes métodos de ensayo, deberán estar definidos en cada caso; en particular, tendrán que especificarse claramente qué ensayos son necesarios para garantizar el correspondiente nivel de

protección, para indumentaria que deba ser utilizada en zonas con riesgo de exposición a un arco eléctrico. [2]

Así, para cada instalación potencialmente riesgosa, es menester evaluar las condiciones locales en relación con la generación de posibles arcos eléctricos. En particular, se debe evaluar la potencial energía liberada y su incidencia sobre las personas en las inmediaciones. La energía del arco queda determinada fundamentalmente por las características puntuales de la instalación, y está definida por la potencia del mismo y su duración. Sin embargo, sólo parte de esta energía incide sobre las personas que se hallan en las cercanías, actuando como factor de atenuación la distancia que los separe. Por otra parte, tampoco toda esta energía incidente es transmitida al cuerpo de tales personas, siendo aquí los atenuantes, las prendas o elementos con los que se hallen protegidas.

Existe, tanto a nivel nacional como internacional, abundante normativa que contempla el ensayo de materiales o indumentaria a ser utilizada ante riesgo de exposición al arco eléctrico. Como regla general, coinciden en establecer un arco eléctrico de una dada energía, colocando una muestra de tela o la propia indumentaria a una cierta distancia del mismo, con la idea de evaluar el posible daño que podría ocasionarse al usuario. En todos los casos se evalúa cualitativa o cuantitativamente el comportamiento de los elementos de protección, siguiendo distintos métodos y procedimientos, obteniéndose resultados no siempre comparables. En lo que sigue, se describirá entonces en primer término la normativa actualmente vigente en Argentina, y la implementación del ensayo correspondiente en el Laboratorio de Potencia del LEME; a posteriori, se efectuará un breve análisis comparativo de la principal normativa actualmente vigente a nivel internacional, y su posible puesta en práctica en nuestro país.

2. ENSAYO SEGÚN NORMA IRAM 3904/2004

La normativa sobre indumentaria de protección actualmente vigente en nuestro país, que define los requisitos y métodos de ensayo para materiales y prendas utilizados ante riesgo de exposición al arco eléctrico, es la IRAM 3904/2004[3]. La misma, está basada en las normas UNE-ENV 50354/2001, española [4], y BS-ENV 50354/2001, de origen británico [5].

El ensayo consiste básicamente, en exponer a los materiales o prendas en cuestión a un arco eléctrico generado por una corriente entre dos electrodos, montados en una caja de yeso diseñada ad hoc. La configuración de prueba hace que el arco sea expedido solo en una dirección, en la cual se coloca la muestra en ensayo.

La norma IRAM diferencia dos métodos de prueba, uno para materiales (Método 1) y otro para prendas ya confeccionadas (Método 2), proponiendo a su vez, para cada uno de ellos, dos clases: 4 kA (Clase 1) y 7 kA (Clase 2).

El detalle de la caja de yeso en la que se montan los dos electrodos para el ensayo, se muestra en la Figura 1, en tanto que en la Figura 2 puede verse el esquema de la instalación de prueba (en ambos casos las dimensiones están expresadas en mm). Para el caso del ensayo de indumentaria (Método 2), se debe emplear un maniquí de material no inflamable ni metálico, que comprenda solamente la parte del torso, con un contorno del pecho de (1020 ± 20) mm. En cuanto a los parámetros que definen las características del arco eléctrico para la prueba, son los que se muestran en la Tabla I.

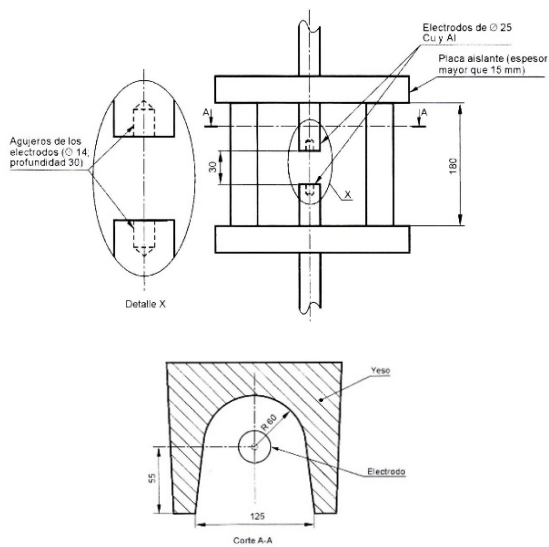


Fig. 1 - Detalle de la caja de ensayo de la norma IRAM 3904/2004 [3]

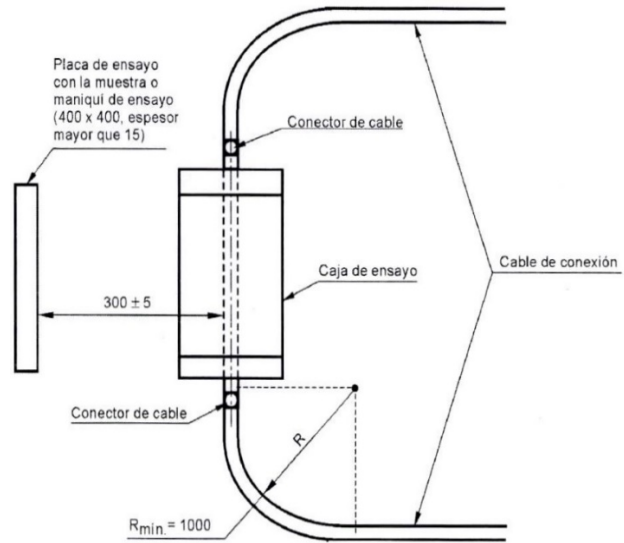


Fig. 2 - Esquema de instalación según norma IRAM 3904/2004 [3]

Tabla I- Parámetros característicos del arco eléctrico para el ensayo según norma IRAM 3904/2004 [3]

Tensión de vacío:	400 V c.a. \pm 5 %
Intensidad de la corriente:	Para Clase 1: 4 kA \pm 5 % Para Clase 2: 7 kA \pm 5 %
Duración:	500 ms \pm 0,5 %
Frecuencia:	(50 \pm 0,1) Hz
Factor de potencia:	Debe ser tal que permita que el arco eléctrico no se extinga durante el ensayo
Conector entre electrodos:	Alambre de cobre, con diámetro máximo de 0,5 mm colocado en el interior de los electrodos

La norma prevé que se realicen dos pruebas sobre sendas muestras, que deben ser sometidas previamente a un tratamiento, consistente en lavados según norma IRAM-INTICIT G 7811 [6] o ISO 3175-2 [7], de acuerdo al tipo de material o prenda de que se trate.

El resultado de la prueba se considera satisfactorio cuando se cumplen todos los requisitos siguientes:

- tiempo de persistencia de la llama (si hubiera) \leq 5 s;
- inexistencia de fusión a través del material, excepto los agujeros que se indican en el punto siguiente;
- ausencia de agujeros de más de 5 mm en el material.

En el caso de la prueba de indumentaria (Método 2), se agrega como exigencia, que los elementos de cierre con que eventualmente esté provista la prenda, funcionen adecuadamente después de la exposición al arco.

3. IMPLEMENTACIÓN DE LA PRUEBA EN EL LABORATORIO DE POTENCIA DEL LEME

Disponer en nuestro país de la capacidad para efectuar pruebas de materiales o prendas utilizados ante riesgo de exposición al arco eléctrico (*"Arc Flash"*), que de lo contrario deben efectuarse en el exterior (lo que no solo complica administrativamente, sino que además vuelve más onerosa la tarea), entendemos que puede considerarse un aporte significativo al cuidado de la seguridad de las personas que desarrollan actividades en ambientes con este tipo de riesgo.

Las prestaciones del Laboratorio de Potencia del LEME, la implementación de la caja de ensayo que se muestra en la Foto 1, y la instalación cuya vista general se puede observar en la Foto 2, permitieron efectuar las primeras pruebas de materiales, con arcos eléctricos de 4 kA y 7 kA, cumpliendo con los requerimientos impuestos por la norma IRAM 3904/2004 [3].

Los resultados obtenidos durante uno de los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Tensión de vacío: 403 V
- Corriente prevista: 7,2 kA
- Duración de la prueba: 499 ms
- Energía de arco (integral en el tiempo del producto tensión-corriente): 395 kJ

En la Figura 3 se muestra el oscilograma con los registros de tensión y corriente obtenidos. La Foto 3 fue extraída del registro de video de la prueba citada, en tanto que la Foto 4 muestra el estado de los electrodos después de producido el arco eléctrico.

4. ENSAYOS SEGÚN NORMAS INTERNACIONALES

Las normas internacionales actualmente vigentes más difundidas, relacionadas con los ensayos de indumentaria utilizada ante riesgo de exposición al arco eléctrico, son las de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC Standard 61482-1-1 [8] e IEC Standard 61482-1-2 [9], y la de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM F1959/F1959M [10].

El ensayo descrito en la norma IEC 61482-1-1 [8] se basa en la realización de un "arco abierto", generado entre electrodos con una separación de 300 mm, lo que obliga a utilizar tensiones de prueba de varios kV. Esta norma está basada en una práctica muy utilizada en América del Norte, proponiendo justamente un procedimiento de ensayo prácticamente idéntico al de la norma ASTM F1959/F1959M [10]. Permite, para un dado material, determinar el parámetro conocido como ATPV (*Arc Thermal Performance Value* o Valor de Protección Térmica al Arco), definido como la energía térmica incidente a la que debe ser expuesta la indumentaria, para que exista un 50 % de probabilidad de que el usuario de la misma sufra quemaduras de segundo grado, sin rotura de la prenda. El valor de ATPV es muy utilizado en los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, para clasificar materiales y prendas de protección según diferentes grados de riesgo de exposición a un arco eléctrico en cada lugar de trabajo. [2, 11].

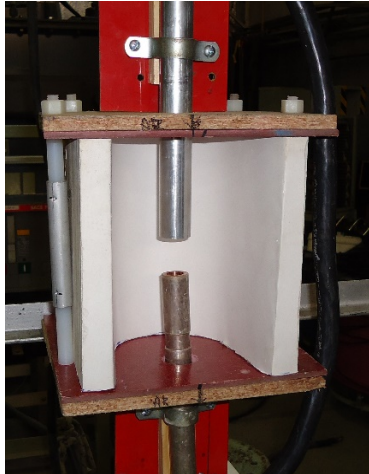


Foto 1 - Caja de ensayo según norma IRAM 3904/04 [3].

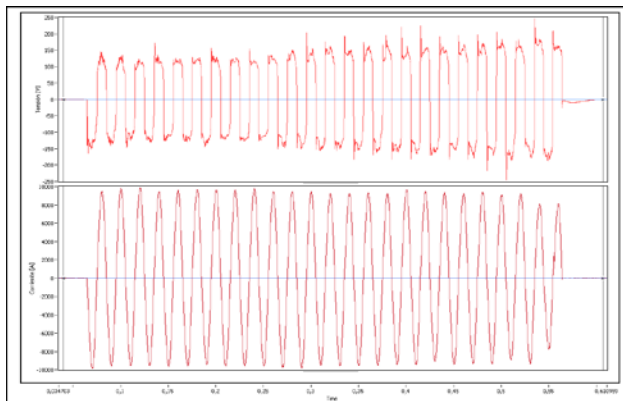


Figura 3 - Oscilograma con los registros de tensión y corriente obtenidos durante un ensayo de arco eléctrico según norma IRAM 3904/2004 [3].



Foto 2 - Instalación de ensayo según norma IRAM 3904/04 [3].



Foto 3 - Imagen extraída del video obtenido durante el ensayo realizado en el LEME.

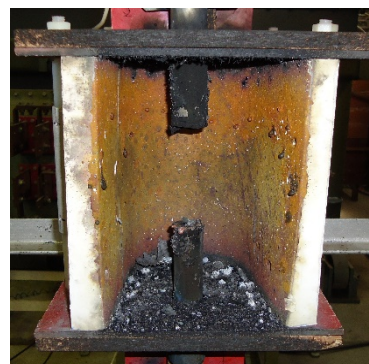


Foto 4 - Estado de los electrodos luego de producido un arco eléctrico.

En cuanto al ensayo contemplado en la norma IEC 61482-1-2 [9], sigue la metodología propuesta por la norma europea que la antecedió, y que ya fuera citada en este artículo, UNE-ENV 50354/2001 [4], generando un “arco confinado” en una caja de yeso (“Box Test”), con dos electrodos separados entre sí 30 mm, sometidos a una tensión de 400 V. Por otra

parte, clasifica también a los materiales y prendas en dos clases, de acuerdo con el valor de la corriente de arco prevista. Como se puede inferir rápidamente, las características del ensayo descrito hasta aquí son completamente análogas a las de la norma nacional IRAM 3904/2004 [3], que también usó a la UNE-ENV 50354/2001 [4] como referencia. Sin embargo, aparece ahora en la norma IEC 61482-1-2 [9], una diferenciación más marcada entre la prueba a que deben ser sometidos los materiales con que se confecciona la indumentaria, y la que debe aplicarse en el caso de que se ensayen prendas ya confeccionadas. Cuando se prueban materiales, se efectúa una evaluación cuantitativa de sus propiedades térmicas de protección contra el arco eléctrico, midiendo la energía transmitida a través de la muestra. El ensayo de exposición al arco eléctrico de las prendas ya confeccionadas, se utiliza en cambio para valorar el comportamiento de todos sus componentes (hilos de las costuras, cierres, botones, etc.), sin efectuar mediciones del calor transferido.

Es oportuno también señalar que, dado que en Europa no es muy utilizada la clasificación en base al ATPV, se halla muy difundida la práctica del ensayo en caja ("*Box Test*"), propuesto por la norma IEC 61482-1-2 [9][2]

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.[12-15]

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 "sólo de acuerdo a uno de los dos métodos", es decir que los mismos no deben combinarse. [1]

En consonancia con lo dicho en el párrafo anterior, la norma IEC 61482-2 [16], 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.

En el caso particular de Argentina, y si bien se haya muy difundida, al menos a nivel comercial, la clasificación en base al ATPV, existe una marcada preferencia hacia la homologación de normativa y procedimientos de ensayo de origen europeos, de lo cual la norma IRAM 3904/2004[3] es una muestra cabal.

Por otra parte, dado que lo que se pretende evaluar son los efectos térmicos del arco eléctrico y, si bien existen diferencias en la forma e intensidad en que el mismo transmite el calor en instalaciones de baja, media o alta tensión, los factores más importantes que lo definen como fuente térmica de energía son su potencia eléctrica y su duración. Así, toda prenda que resista una dada energía incidente, independientemente de la disposición de ensayo con la que se haya generado, tendrá un efecto protector térmico similar contra el arco eléctrico, tanto en una instalación de baja, como de media o alta tensión. [1]

5. ESQUEMA DE PRUEBA CON “ARCO ABIERTO” (“ARC RATING TEST”)

La norma IEC 61482-1-1 [8] prevé dos métodos de ensayo denominados A y B. El primero se emplea para cuantificar características de los materiales, como son el Valor de Protección Térmica al Arco (ATPV), o la energía de rotura (*Break Open Energy*, E_{BT50}). El método B, en cambio, se utiliza para determinar el comportamiento de las prendas ya confeccionadas (con materiales probados según el método A), incluyendo todos sus componentes (hilos de las costuras, bolsillos, cierres, botones, etc.), pero no prevé la determinación del ATPV por ejemplo.

El ensayo de muestras de material previsto en la norma IEC 61482-1-1 [8] (método A), se basa en la generación de un arco eléctrico en una configuración de tipo coaxial simétrica, colocando tres muestras del material a ensayar, en forma también simétrica. En la Figura 4 se muestra el esquema de prueba extraído de la citada norma (que coincide exactamente con el propuesto en la norma ASTM F1959/F1959M-06ae1 [10]).

La disposición de ensayo consiste en dos electrodos de varilla de acero inoxidable, enfrentados verticalmente a una distancia de 300 mm, entre los cuales se genera el arco eléctrico, y seis barras que forman una configuración coaxial para el retorno de la corriente. Cada una de las tres muestras de material a probar se coloca sobre sendos paneles de soporte, ubicados a 300 mm del eje longitudinal de los electrodos, y desplazados entre sí un ángulo de 120° . Los paneles deben tener como mínimo 550 mm de altura y 200 mm de ancho, y estar provistos de dos calorímetros de cobre electrolítico para determinar la energía incidente. La disposición adoptada permite la formación ininterrumpida del arco eléctrico.

Para lograr una adecuada consistencia estadística se deben efectuar al menos siete “disparos” a una corriente de 8 kA. Por otra parte, teniendo en cuenta que se requiere mantener el arco encendido durante lapsos de hasta 1,5 s, es necesaria una fuente de energía eléctrica de media tensión (varios kV) y gran potencia.

Para el caso del ensayo de indumentaria ya confeccionada (Método B), se propone un montaje similar, pero colocando en lugar de paneles de soporte, maniqués de material no inflamable ni metálico, que incluyan el torso y eventualmente los brazos, con un contorno del pecho de (1067 ± 25) mm.

6. ESQUEMA DE PRUEBA CON “ARCO CONFINADO” (“BOX TEST”)

Como se anticipó, la metodología de ensayo prevista en la norma IEC 61482-1-2 [9], tiene varios puntos de coincidencia con la norma nacional IRAM 3904/2004 [3], analizada más arriba. Así, prevé dos métodos de prueba, uno para materiales y otro para prendas ya confeccionadas, proponiendo a su vez, para cada uno de ellos, dos clases: 4 kA (Clase 1) y 7 kA (Clase 2). Las dimensiones de la caja de yeso de ensayo y el esquema de la instalación de prueba coinciden, respectivamente, con lo mostrado en las Figuras 1 y 2,

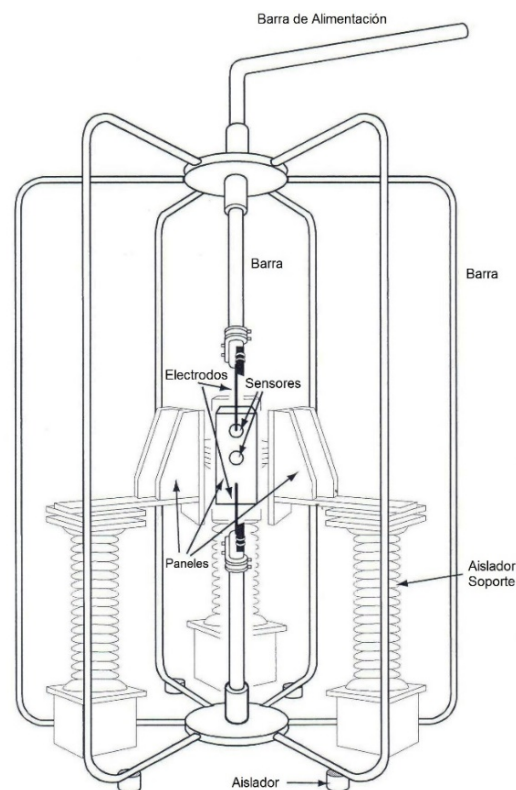


Figura 4 - Esquema de la instalación de ensayo de muestras de material de acuerdo a la norma IEC 61482-1-1 [8]

salvo en la profundidad de los agujeros de los electrodos, y en el espesor de la placa de ensayo, para los cuales la norma IEC especifica 20 mm y > 10 mm, respectivamente. En cuanto a los parámetros que definen las características del arco eléctrico para la prueba, son los ya presentados en la Tabla I.

En el método de ensayo de materiales se requiere medir el calor generado por el arco y la energía transmitida a través de la muestra, utilizando calorímetros de cobre, cuyo incremento de temperatura es directamente proporcional a la energía térmica recibida.

Para el caso del ensayo de las prendas completas en cambio, no se requiere ningún tipo de medición del calor generado, ya que lo que se pretende es evaluar el comportamiento de la indumentaria ya confeccionada, incluyendo todos los elementos que la componen (hilos de las costuras, bolsillos, cierres, botones, etc.).

Para el montaje de las muestras de ensayo se utiliza una placa plana cuadrada de 400 mm de lado y, al menos, 10 mm de espesor, con dos sensores calorimétricos, cuando se prueban materiales, y un maniquí de material no inflamable ni metálico, que comprenda solamente la parte del torso, con un contorno del pecho de (1020 ± 50) mm, para el caso de las prendas.

Según se cita en la propia norma, estos ensayos de laboratorio con “arco confinado”, fueron introducidos a fin de evaluar condiciones reales, en las que hay un riesgo significativo de que algún trabajador quede expuesto a un arco eléctrico direccionado hacia su parte frontal, en la zona del esternón.

7. CONCLUSIONES

En general, los actores involucrados en temas de seguridad, en particular aquellos que participan asidua o esporádicamente de reuniones de normalización del IRAM, representantes de organismos de certificación, usuarios, fabricantes, importadores, etc., que directa o indirectamente están relacionados con trabajadores que deben utilizar indumentaria de protección para riesgo de exposición al arco eléctrico, suelen manifestarse sobre las ventajas de disponer de laboratorios locales que puedan realizar pruebas de materiales o prendas de este tipo. Así, se decidió en el LEME dedicar los esfuerzos necesarios para estudiar, desarrollar e implementar la realización de tales ensayos, considerando especialmente las prestaciones de su Laboratorio de Potencia. En este contexto, se logró implementar la realización del ensayo de materiales utilizados ante riesgo de exposición al arco eléctrico, cumpliendo con los requerimientos de la norma nacional IRAM 3904-2004 [3].

Por otra parte, después de haber hecho un análisis de buena parte de la normativa internacional vigente actualmente sobre el tema de referencia, se ve que la misma contempla básicamente dos metodologías de prueba típicas: ensayos con “arco confinado” o con “arco abierto”, la primera más difundida en Europa y la segunda de mayor uso en América del Norte. Sin embargo, ambos métodos poseen validez reconocida por la Comisión Electrotécnica Internacional, la que a su vez sostiene que cada uno ellos suministra información diferente, no comparable directamente, y deja librada a los usuarios la elección del método de ensayo.

A este punto, también vale la pena remarcar una significativa evolución que se ha dado en los últimos años en la normativa internacional, en el sentido de haber incorporado a los ensayos en cuestión, evaluaciones de tipo cuantitativas, especialmente orientadas a medir los efectos térmicos del arco sobre la indumentaria y las personas, utilizando, por ejemplo, calorímetros de cobre.

Lo dicho en los párrafos precedentes orienta entonces al LEME a trazar su línea de trabajo futuro sobre el tema, la que estará enfocada, al menos en una primera etapa, a llevar los logros obtenidos en la implementación del método de ensayo de materiales utilizados ante

riesgo de exposición al arco eléctrico con “arco confinado” (*Box Test*), hacia la prueba de prendas completas ya confeccionadas bajo la norma nacional, y de materiales y prendas según la norma internacional IEC Standard 61482-1-2 [9], que ya contempla el uso de métodos de evaluación calorimétricos.

8. REFERENCIAS

- [1] 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.
- [2] Holger Schau, “The new standard IEC 61482 and experiences with the box method for testing of clothing for protection against the thermal hazards of an electric arc”, 8th International Conference on Live Maintenance, ICOLIM 2006, June 7-9, Prague.
- [3] Norma IRAM 3904-2004, “Indumentaria de protección. Requisitos y métodos de ensayo de materiales y prendas utilizados ante riesgo de exposición al arco eléctrico”, Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- [4] Norma UNE-ENV 50354/2001, “Métodos de ensayo de arco eléctrico para los materiales y prendas de vestir utilizados por los trabajadores con riesgo de exposición a un arco eléctrico”, Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- [5] British Standard DD ENV 50354/2001, “Electrical arc test methods for material and garments, for use by workers at risk from exposure to an electrical arc”, British Standards Institution, BSI.
- [6] Norma IRAM-INTI-CIT G 7811, “Textiles. Procedimientos de lavado y secado para ensayos textiles.”, 08/05/1998.
- [7] ISO Standard 3175-2, “Textiles. Professional care, dry cleaning and wet cleaning of fabrics and garments. Part 2: Procedure for testing performance when cleaning and finishing using tetrachloroethene.”, Second edition, 2010.
- [8] IEC Standard 61482-1-1, “Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 1-1: Test methods. Method 1: De termination of the arc rating (ATPV or E_{BT50}) of flame resistant materials for clothing”. Edition 1.0, 2009-05.
- [9] IEC Standard 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.
- [10] ASTM F1959/F1959M-06ae1, “Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing”, American Society for Testing and Materials.
- [11] NFPA 70E, “Standard for Electrical Safety in the Workplace”, National Fire Protection Association, 2012 Edition.
- [12] Thomas E. Neal, Allen H. Bingham, Richard L. Doughty, “Protective Clothing Guidelines for Electric Arc Exposure”, IEEE Transactions on Industry Applications, July/August 1997.
- [13] Richard L. Doughty, Thomas E. Neal, Terrence A. Dear, Allen H. Bingham, “Testing Update on Protective Clothing and Equipment for Electric Arc Exposure”, IEEE Industry Applications Magazine, January/February 1999.
- [14] Aidan M. Graham, Michael Hodder, Gary Gates, “Current Methods for Conducting an Arc Flash Hazard Analysis”, Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting, 3-7 Oct. 2004.

- [15] Hugh Hoagland, Arc-Flash PPE Research Update, IEEE Transactions on Industry Applications, May/June 2013.
- [16] IEC Standard 61482-2, "Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 2: Requirements". Edition 1.0, 2009-04.