

Seguridad Eléctrica y Peligro de la Descarga de Arco

K. Cevallos ⁽¹⁾, M. Herdoíza ⁽²⁾, J. Gallo ⁽³⁾
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
kvcevall@espol.edu.ec ⁽¹⁾, maherdoi@espol.edu.ec ⁽²⁾.
Ingeniero Eléctrico ⁽³⁾ jgallo@fiee.espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

Los riesgos que están latentes en todo tipo de instalación eléctrica, pueden ser disminuidos si se realiza un análisis completo de toda la instalación, generalmente se hace el estudio de corto circuito, y se utilizan protecciones que son capaces de eliminar fallas en periodos muy cortos de tiempo, sin embargo en el momento que se produce la falla, se genera un arco eléctrico que es capaz de lastimar seriamente a un trabajador que se encuentra en el sitio. Actualmente en la seguridad industrial se ha introducido un nuevo concepto que consiste en realizar un estudio de arco eléctrico, basado en formulaciones que son el resultado de la experimentación. Los resultados permiten realizar una evaluación de riesgos, para saber qué medidas se tienen que adoptar en los diferentes tipos de instalaciones, cuya implementación nos permite reducir los niveles de peligro a los que los trabajadores o las personas están expuestos.

Palabras Claves: Arco eléctrico, corto circuito, evaluación de riesgos.

Abstract

The risk present in any kind on electrical installation could be reduced if a complete analysis of all installation is performed. Generally a short circuit study is performed and good electrical protections are installed. It can clear electrical fault in shorter period of time however at the moment that the fail happens it produces an arc flash that can hurt a worker located in that site. Actually in the electrical security plan a new concept have been introduced which is an electrical arc flash study. Using equations based on experimental results. This allows performing an evaluation of risk in order to know what need to be done in the different types on installation. After this implementation the risk that a Worker or a person is exposed must be reduced.

Keywords: Arc Flash, short circuit, risk evaluation.

1. Introducción

El presente trabajo se lo ha desarrollado con la finalidad de Analizar la Seguridad Eléctrica y Peligros del Arco Eléctrico existentes en un centro de control de motores en una Planta de Generación.

Se ha realizado este trabajo con el objetivo de dar una correcta orientación a la operación de los equipos de un centro de control de motores desechando los malos hábitos y tomando en cuenta las leyes y normas existentes, con lo cual se mejora la Seguridad Eléctrica Industrial de la Planta.

El método empleado para la realización de este trabajo es primero un análisis del arco eléctrico, luego una revisión de las leyes y normas existentes que regulan el trabajo en instalaciones eléctricas contra el Arco Eléctrico. Luego realizar el cálculo de las distancias de seguridad. Con estos resultados evaluamos los riesgos existentes en el Centro de control de motores identificando las deficiencias existentes en las actividades de toma de datos,

operación y mantenimiento de los equipos y evaluamos el riesgo existente de cada una de ellas.

Nuestro interés de realizar este estudio de la Seguridad Eléctrica y Peligros del Arco Eléctrico fue conocer más acerca de este fenómeno físico y de esta forma poder aplicarlo a la Operación y Mantenimiento de un Centro de control de motores para poder evaluar las actividades que se realizan diariamente e identificar los problemas existentes y corregirlas para asegurar así un trabajo que sea realizado de forma segura, y de esta forma cumplir el sabio adagio que dice una familia de un trabajador eléctrico (que llegues a casa tal como sales a tu trabajo).

2. Marco Teórico

2.1. El Arco Eléctrico y las causas que lo generan

El Arco Eléctrico es una transmisión de energía a través del aire, entre un conductor vivo expuesto a otro o a tierra. Produce temperaturas extremadamente

altas, intenso calor radiante, explosiones sonoras y ondas de presión, destellos de luz intensa. Dependiendo de la intensidad del arco eléctrico, este puede ser catastrófico.

Una de las causas para que se genere un arco eléctrico es la evolutiva, que consiste en el debilitamiento de las resistencias de aislamientos en los equipos debido a la falta de mantenimiento. La figura 1 muestra la formación de polvos, impurezas, corrosión.



Figura 1. Sistema de arranque de un motor

Las causas mecánicas se presentan cuando en instalaciones en las que se deben realizar mantenimientos con los equipos energizados, no se tiene la suficiente precaución o no se realizan los trabajos con las herramientas adecuadas, ya que en un descuido se puede caer una herramienta entre dos barras energizadas, produciéndose un arco como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Personal trabajando en barras principales

Las sobre tensiones en los sistemas también pueden generar descargas de arco, ya que los espacios entre conductores puede ser pequeño debido a un mal diseño de la instalación o por problemas de aflojamiento de las conexiones.

2.2. Fronteras de aproximación y protección a la descarga de arco.

Las fronteras de aproximación y protección de la descarga de arco, han sido analizadas y creadas con el propósito de reducir los riesgos que se generan cuando se trabaja en equipos energizados.

Estas se encuentran definidas de la siguiente forma: Frontera de protección a la descarga de arco, frontera de aproximación limitada, frontera de aproximación restringida, frontera de aproximación prohibida.

2.3. Cálculo de los parámetros del arco Eléctrico.

Los siguientes procedimientos son recomendados por el estándar IEEE 1584-2002 en la evaluación del peligro a la descarga de arco eléctrico. Las ecuaciones empíricas fueron desarrolladas por un grupo de trabajo y están basadas en resultados de pruebas.

Corriente de Arco

$$I_a = 10^{\left\{ \begin{array}{l} K + 0.662 \log(Ibf) + 0.0966 V + \\ 0.000526 G + 0.5588 V * \log(Ibf) \\ - 0.00304 G * \log(Ibf) \end{array} \right\}} \quad (1)$$

Energía Incidente Normalizada

$$E_n = 10^{\{K_1 + K_2 + 1.081 * \log(I_a) + 0.0011 G\}} \quad (2)$$

Energía incidente

$$E = 4.184 * C_f * E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x \quad (3)$$

Frontera de protección a la descarga de arco

$$D_B = 610 * \left[4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{1}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (4)$$

Adicional a estas formulaciones se tiene que considerar la tabla 130.2(C) de la NFPA 70E edición 2004. [3]

2.4. Evaluación de los riesgos y peligros.

Para realizar la valoración de los riesgos eléctricos a la descarga de arco utilizaremos la nota técnica NTP 330, sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidentes [4]. Pese a que solo es una guía metodológica a la que se la han de agregar instrumentos de medida, estos son los cuestionarios de chequeo con factores de riesgo de peso pre asignado, para convertirla en un método.

La metodología que presentamos permite cuantificar la magnitud de los riesgos existentes y, en consecuencia, jerarquizar racionalmente su prioridad de corrección. Para ello se parte de la detección de las deficiencias existentes en los lugares de trabajo para, a continuación, estimar la probabilidad de que ocurra un accidente y, teniendo en cuenta la magnitud esperada de las consecuencias, evaluar el riesgo asociado a cada una de dichas deficiencias.

El nivel de riesgo (NR) será por su parte función del nivel de probabilidad (NP) y del nivel de consecuencias (NC) y puede expresarse como:

$$NR = NP \times NC \quad (5)$$

Partimos de un cuestionario que es creado de acuerdo al sitio en el que se va a realizar la evaluación, para que una vez lleno, podamos tomar obtener el nivel de deficiencia de las instalaciones de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Nivel de deficiencia (ND)

Nivel de deficiencia	ND	Significado
Muy deficiente (MD)	10	Se han detectado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallos.
Deficiente (D)	6	Se ha detectado algún factor de riesgo significativo que precisa ser corregido.
Mejorable (M)	2	Se han detectado factores de riesgo de menor importancia.
Aceptable (A)	-	No se ha detectado anomalía destacable alguna.

El nivel de exposición está determinado por la frecuencia con que una persona llega al lugar en el que podría existir un incidente, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Nivel de exposición (NE)

Nivel de exposición	NE	Significado
Continuada (EC)	4	Continuamente. Varias veces en su jornada
Frecuente (EF)	3	Varias veces en su jornada laboral, aunque sea con tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	Alguna vez en su jornada laboral y con periodo corto de tiempo
Esporádica (EE)	1	Irregularmente

El nivel de probabilidad es un factor que está determinado por la multiplicación del nivel deficiencia por el nivel de exposición $NP = ND \times NE$, el siguiente factor a analizar en esta metodología es el nivel de consecuencias, el mismo que determina los daños que se tendrían en el caso de que se materialice el riesgo. Tabla 3.

Tabla 3. Nivel de consecuencias (NC)

Nivel de exposición	NE	Significado	
		Daños personales	Daños materiales
Mortal o Catastrófico (M)	100	1 o más	Dstrucción total del sistema (difícil repararlo)
Muy Grave (MG)	60	Lesiones graves que pueden ser irreparables	Dstrucción parcial del sistema (compleja y costosa la reparación)
Grave (G)	25	Lesiones con incapacidad laboral transitoria (I.L.T.)	Se requiere paro de proceso para efectuar la reparación
Leve (L)	10	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización	Reparable sin necesidad de paro del proceso

El nivel de riesgo está determinado de acuerdo a la ecuación (5).

Los resultados nos permiten visualizar el nivel de intervención que se requieren en las instalaciones para reducir los niveles a los que está expuesto el personal, para esto se requiere el uso de las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Nivel de Riesgo (NR)

		Nivel de probabilidad (NP)			
		40-24	20-10	8-6	4-2
Nivel Consecuencias (NC)	100	I 4000-2400	I 2000-1200	I 800-600	II 400-200
	60	I 2400-1440	I 1200-600	II 480-360	II 240 III 120
	25	I 1000-600	II 500-250	II 200-150	III 100-50
	10	II 400-240	II 200 III 100	III 80-60	II 40 IV 20

Tabla 5. Significado del nivel de intervención

Nivel de intervención	NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Corrección urgente
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
IV	20	No intervenir, salvo que en un análisis más preciso lo justifique.

3. Legislación y Normas

El análisis y estudio del arco eléctrico en la actualidad, está siendo evaluado de tal forma que se ha generado varias Normas y reglamentos, para el estudio e investigación del presente trabajo se han tomado en consideración las siguientes:

3.1. Reglamento del Ministerio del Trabajo 2393.

El reglamento de Seguridad del Trabajo contra riesgos en instalaciones de Energía Eléctrica, en el Capítulo 2 podemos encontrar la Normativa de seguridad para el personal que interviene en la operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas, Artículos 12, 13, 14.

3.2. CPE INEM 019 (Código Eléctrico Nacional)

En el Código Eléctrico Nacional, que tiene el Ecuador se destacan las siguientes Normas:

Sección 110.16 Espacio alrededor de los equipos eléctricos (para 600V nominales o menos).- Alrededor de todos los equipos eléctricos se proveerá y mantendrá suficiente espacio de acceso y trabajo, para así permitir la operación segura y mantenimiento.

Sección 110.18 Partes que pueden formar arcos eléctricos.- Las partes del equipo eléctrico que en su

funcionamiento normal pueden formar arcos, chispas, llamas o puedan fundir metal se deben encerrar, separar y aislar de cualquier material combustible.

El Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos tiene una normativa en la Sección 110.16 que hace referencia a las precauciones que se deben tener con los peligros del arco eléctrico [1].

3.3. Asociación de protección contra incendios (NFPA 70E).

La asociación de protección contra incendios en la sección NFPA 70E está enfocada en la Normativa para la seguridad eléctrica en el sitio de trabajo.

En la edición 2004, podemos encontrar los siguientes artículos [3]:

Artículo 110.8, 130.3(A), (B). Análisis de los peligros a la descarga de arco; Artículo 130.7(C). Requerimientos para el equipo de protección personal. Artículo 110.8 (B) (2), 130.1(A). Permisos de trabajo; Artículo 205.2. Diagrama unifilar del sistema eléctrico; Artículo 400.6, 410.9 (B) (1), (2), (3), 410.9(C) (1) ,2. Estudio de coordinación de protecciones; Artículo 400.11. Señalización para la protección a la descarga de arco.

3.4. Asociación para la Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) – Sociedad Americana para pruebas y materiales (ASTM).

La OSHA tiene la siguiente Normativa que se aplica a la seguridad eléctrica y al peligro de la descarga de Arco Eléctrico.

OSHA 1910.269(L)(6)(iii); OSHA 1910.132(d)(1), (d)(1)(i), (d)(1)(ii), (d)(1)(iii); OSHA 1910.132(e); OSHA 1910.132(f).

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales desarrolla estándares que especifican la calidad de varios materiales incluyendo los de seguridad como el equipo de protección personal. Los siguientes estándares son aplicables para el equipo de protección contra la descarga de Arco:

ASTM F1506, ASTM F1959, ASTM F1449.

3. Cálculos de los parámetros del Arco Eléctrico para un centro de control de motores.

En el presente estudio vamos a tomar como ejemplo, un centro de control de motores de motores, el mismo que está conformado por un transformador principal, dos barras de alimentación de energía, y varias cargas, como se ilustra en la Figura 3.

Para nuestro análisis realizaremos el cálculo de los parámetros del arco eléctrico en tres puntos determinados, que son P1, P2, P3. Los datos de los equipos y las corrientes de falla han sido tomados de

la información de los estudios realizados en el centro de control de motores.

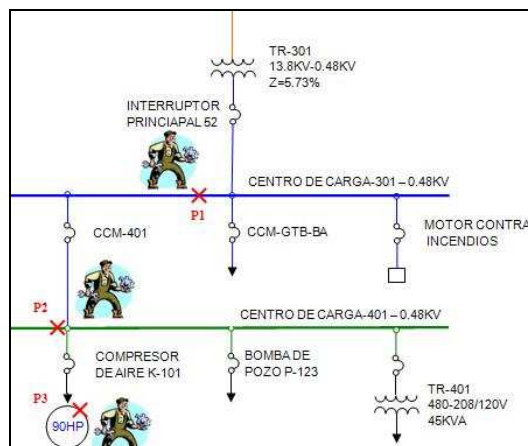


Figura 3. Diagrama Eléctrico del sistema

Los cálculos se han realizado de acuerdo a la normativa IEEE 1584-2002, utilizando las formulas que se detallan en la Sección 2.3 de la parte teórica. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados

Lugar de la Falla	Corriente de Arco Ia (KA)	Energía Normalizada En (J/cm2)	Energía Incidente E (J/cm2)	Frontera de Protección Db(mm)
Punto P1	91.2	33.7	174.2	1200.3
Punto P1	62.3	22.3	115.5	1200.0
Punto P1	14.7	4.25	21.9	1202.6

4. Evaluación de los riesgos y peligros.

Después de haber realizado varias visitas a Plantas de Generación de nuestro país, en nuestro criterio, el mejor lugar para realizar una evaluación de riesgo es el Centro de Control de Motores de los Sistemas Auxiliares de una Planta de Generación. Ya que en estos lugares por su diseño en sí las personas trabajan con voltajes medios a distancias muy cercanas, las actividades operativas que realizan, y el tiempo que están presentes en el lugar presentan deficiencias en Seguridad Industrial que ponen en riesgo la vida de las personas que trabajan ahí, los recursos materiales que posee la empresa, lo cual indica que se perderían ingentes recursos económicos si llegara a desarrollar un Arco Eléctrico en el Centro de Control de Motores.

Nos preguntamos entonces cual es el objetivo de realizar un estudio de evaluación de riesgos en el Centro de Control de Motores si tenemos identificadas las deficiencias, simplemente deberíamos corregir todas las deficiencias, lo cual solucionaría nuestros problemas, pero esto también traería grandes cantidades de dinero en su corrección. Entonces si podríamos identificar cual es la deficiencia más crítica, sobre cual se debe realizar acción correctiva nos ayudaría a ordenar el plan de acción a tomar para

la corrección de las deficiencias presentes. Entonces aplicaremos la base teórica de la nota técnica NTP 330, la cual fundamenta nuestro método mencionado en la parte teórica en el estudio de evaluación de Riesgo de Arco Eléctrico. De esta forma estaríamos cumpliendo las Normas OSHA 1910.132(d) (1), OSHA 1910.132(d) (1) (i), OSHA 1910.132(d) (1) (ii), OSHA 1910.132(d) (1) (iii), OSHA 1910.132(e), OSHA 1910.132(f).

La evaluación ha sido aplicada a tres tareas seleccionadas que son:

Tarea 1. Operación; Tarea 2. Mantenimiento por personal de Planta; Tarea 3. Toma de datos de operación del sistema.

Se ha aplicado todo el procedimiento de la metodología para cada una de las tareas y los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados para la valoración de riesgos

Tarea	ND	NE	NP=NDxNE	NC	NR=NPxNC
Tarea 1	6	2	12	60	720
Tarea 2	10	4	40	10	400
Tarea 3	2	4	8	10	80

Con estos valores de Nivel de Riesgo y de acuerdo al Nivel de intervención requerida que nos indica la Tabla 5, para la tarea 1 tenemos una situación crítica en la que los correctivos son urgentes, en la tarea 2 se tienen que hacer correcciones y adoptar medidas de control, mientras que para la Tarea 3 se pueden hacer mejoras con la respectiva justificación [4].

5. Medidas de Prevención y Control.

El peligro de una exposición a un arco eléctrico puede ser reducido con la aplicación correcta de los procedimientos, el uso de las herramientas correctas, un buen mantenimiento preventivo, la planificación y la coordinación de los trabajos, así como el entrenamiento y el desarrollo de habilidades para desarrollar los trabajos.

También es importante considerar el estado físico y mental en la que se encuentra la persona que va a desarrollar un trabajo, ya que esto podría ocasionar la caída de herramientas, el contacto accidental con partes energizadas, etc. La principal estrategia para evitar los accidentes por la descarga de arco, es tomar cuidado de las causas que lo producen.

Los accidentes pueden ocurrir por un descuido o por no tomar las precauciones necesarias, sin embargo si esto llegase a suceder, es mejor que la energía que incide sobre el trabajador sea la más baja posible, y que el mismo se encuentre preparado para el peor escenario utilizando el correcto equipo de protección personal.

5.1. Etiquetado de los paneles de Distribución

Obtenidos los resultados del límite de protección para la descarga de Arco Eléctrico, entonces los

tableros que contienen las barras e interruptores de alimentación de energía tendrán las etiquetas que se muestran en la Figura 4. Las cuales servirán de información para el personal que labora tanto en Operaciones como en Mantenimiento, de esta forma se cumplirá con la Norma NFPA 70E Artículo 400.11 [3].



Figura 4. Etiqueta de advertencia

5.2. Colocación de aislamiento y bloqueo.

Este sistema de aislamiento y bloqueo requerimiento de la Norma OSHA 1910.147, se tiene que aplicar para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos de equipos y lograr una seguridad Integral. En la Figura 5 se muestra un formato que se tiene que llenar, en la que constan un sucesión de firmas de responsabilidad, el mismo debe ser discutido y analizado previo a realizar el mantenimiento.

TAG OUT / LOCK OUT						Permiso N°	
Orden de Trabajo N°	Solicitado por:				Empresa:		
Equipo afectado:							
Naturaleza de la reparación:							
Aislamiento realizado por:				Fecha:	Hora:		
Nombre:	Fecha:			Hora:			
Supervisor de Turno:				Fecha:	Hora:		
Nombre:	Fecha:			Hora:			
Trabajador del permiso:				Fecha:	Hora:		
Nombre:	Fecha:			Hora:			
AISLAMIENTO DE EQUIPO							
Aislamiento Requerido	SI	NO	Turno	Cantidad	#	Estado	Empresa
1							
2							
3							
4							
5							
21							
22							
23							
CANCELACION DE PERMISO							
Trabajador del Permiso:				Empresa:	Fecha:	Hora:	
Nombre:	Fecha:			Hora:			
Aislamiento removido por:				Empresa:	Fecha:	Hora:	
Nombre:	Fecha:			Hora:			
Supervisor de Turno:				Empresa:	Fecha:	Hora:	
Nombre:	Fecha:			Hora:			

Figura 5. Formato de aislación y bloqueo

5.3. Equipo de protección personal.

Para proteger a los trabajadores de los peligros que se generan en las diversas áreas de trabajo, se requiere el uso de equipo de protección personal, como ya se ha determinado los riesgos al arco eléctrico [4], y como se realiza una evaluación de las zonas de

peligro, éste equipo debe ser utilizado de acuerdo a esa evaluación. La Figura 6 muestra los diferentes equipos de protección personal de acuerdo a los parámetros del arco eléctrico [3].



Figura 6. Equipo de Protección Personal

5.4. Implementación de medidas de control en el centro de control de motores.

El Objetivo de aplicar las medidas de control a nuestra aplicación el centro de control de motores, es reducir los niveles de riesgo, para se aplicaran todas las normativas existentes, y cada una de las opciones expuestas en la Sección 5.

Una vez que se han aplicado las medidas, tenemos nuevos resultados en la evaluación de riesgos de acuerdo a la metodología NTP 330 [4], los mismos que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados para la valoración de riesgos

Tarea	ND	NE	NP=NDxNE	NC	NR=NPxNC
Tarea 1	2	2	4	60	240
Tarea 2	6	4	24	10	240
Tarea 3	2	4	8	10	80

Comparando las Tablas 7 y 8 se observa una reducción de los niveles de riesgos para la Tarea 1 y 2 una vez que se han aplicado las medidas de control.

6. Conclusiones

Se ha encontrado que la mayor parte de las personas que laboran en los centros de control de motores no tiene el conocimiento del Arco Eléctrico, de las seguridades que tienen que ser implementadas para tener un trabajo seguro en equipos energizados con medio y alto voltaje.

En las plantas de generación visitadas, no se tienen ningún tipo de señalización en los equipos, y en pocas se tiene el equipo de protección personal a utilizarse que limite la incidencia del arco eléctrico.

Es necesario implementar en las Plantas de Generación Eléctrica que van a ser instaladas, y en la que ya están en funcionamiento una correcta

señalización con respecto a las fronteras de protección de los tableros eléctricos, para que así el trabajador que se desenvuelve en las operaciones de esta área tenga conocimiento de que clase de equipo de protección personal debe usar, ya que como se ha revisado en el presente estudio de arco eléctrico, las consecuencias pueden ser fatales sino se está con el respectivo equipo de protección personal. Claro está que esto no le asegura la vida, pero minimiza al máximo el riesgo de perderla.

También tenemos que realizar cambios en el área operativa, ya que con los resultados que se obtienen de la valoración de riesgos, una vez que se implementan los correctivos se logran bajar los niveles de riesgo en el área donde se implementan las modificaciones.

Tenemos que tener claro que no siempre los diseñadores han tomado en cuenta todos los riesgos presentes en los centros de control de motores, solo la actividades que se realizan diariamente tanto operativa y de mantenimiento dejan a la luz la mayor cantidad de deficiencias, para lo cual se tiene que efectuar el respectivo análisis para identificar las de mayor riesgo y corregirlas de acuerdo con los resultados obtenidos.

7. Referencias

- [1] Earley Mark, Código Eléctrico Nacional (EEUU), NFPA, 2008.
- [2] Subcomité técnico: Electrotecnia, Código Eléctrico Nacional CPE INEN 19, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Noviembre 1999.
- [3] Comité técnico en seguridad eléctrica en el sitio de trabajo, Estándares para la Seguridad Eléctrica en el sitio de trabajo, NFPA, Febrero 11 del 2004.
- [4] Francisco Pareja Malangón, Sistema Simplificado de Evaluación de Riesgos de accidente NTP 330, INSHT, 2005.
- [5] Chet Davis, Conrad St Pierre, Guía práctica para el análisis de los peligros del arco Eléctrico, ESA Inc., 2003.
- [6] Kathleen M. Kowalski-Trakofler, Peligros del Arco Eléctrico, NIOSH Publicación No.2007-116D, Enero 2007.
- [7] Direcciones de internet.
<http://www.easypower.com>
<http://www.osha.gov/as/opa/spanish/index.html>
<http://www.nfpa.org>