

Calculadora de Arco Eléctrico para la Evaluación de Riesgos en Instalaciones Eléctricas.

Arc Flash Calculator for Risk Assessment in Electrical Installations.

Presentación: 17/10/2023

Bruno E. Sacco

Universidad Tecnológica Nacional
bsacco@frsf.utn.edu.ar

Resumen

Los estudios de riesgo por arco eléctrico son cada vez más exigidos con el fin de proteger a los operarios de instalaciones eléctricas energizadas. En este trabajo se implementa un algoritmo que contribuye en la realización de estudios de *Arc-Flash* bajo el estándar internacional IEEE 1584. También se implementa una interfaz de usuario sencilla que facilita su empleo en la evaluación de riesgo por parte de usuarios no especialistas y permite imprimir etiquetas de advertencia con los valores resultantes del análisis. El calculador se valida luego con calculadores similares disponibles en la web y se emplea para analizar dos casos de estudio con distintos niveles de tensión y potencias de cortocircuito.

Palabras clave: Arco eléctrico – Calculador – Python – NFPA 70E – IEE 1584-2018

Abstract

Arc flash risk studies are increasingly demanded in order to protect operators working with energized electrical installations. This work involves the implementation of an algorithm that aids in conducting Arc-Flash studies according to the international standard IEEE 1584. Additionally, a user-friendly interface has been developed to simplify its use for risk assessment by non-specialist users and allows for the printing of warning labels with the resulting analysis values. The calculator is then validated against similar online calculators and is used to analyze two case studies with different voltage levels and short-circuit powers.

Keywords: Electric Arc – Calculator – Python – NFPA 70E – IEE 1584-2018

Introducción

En el campo de la ingeniería eléctrica, la seguridad es una prioridad fundamental. Uno de los riesgos más significativos a los que se exponen operarios de instalaciones energizadas es el de accidentes por arco eléctrico (del inglés, *Arc-Flash*). El arco eléctrico puede producirse entre dos puntos con diferente potencial eléctrico y ante determinadas maniobras o fallas de la instalación. Las consecuencias de estos accidentes pueden ser serias y en algunos casos mortales; pueden incluir quemaduras graves, pérdidas de la visión, pérdidas auditivas, lesiones por materiales expulsados, inhalación de gases tóxicos, etc.

Para mitigar estos riesgos se puede realizar un estudio de Arc-Flash; consiste en determinar, entre otros parámetros, la energía incidente a la que estaría expuesto un operario en un punto de la instalación ante dicho accidente. Con este parámetro se puede categorizar el riesgo en la instalación y definir los elementos de protección personal (EPP) que pueden considerarse obligatorios para dicha instalación. Estas categorías y las características requeridas para los EPP se detallan en la norma internacional NFPA 70E (NFPA 70E, 2012).

Existen diversas normas que establecen procedimientos para desarrollar el estudio de arco eléctrico, con el fin de proteger tanto a los trabajadores como a las instalaciones. A nivel nacional se utiliza la norma AEA 92606 (AEA 92606, 2016), pero también existen otros estándares muy usados internacionalmente como la IEEE 1584 (IEEE 1584, 2018) y el método de Ralph Lee que usa la NFPA 70E. Estos difieren en la metodología que se aplica para determinar el valor final de energía incidente y en la forma en la que se desarrolló cada modelo. En un estudio de este tipo, deben considerarse distintos aspectos de la instalación que influyen en los resultados finales. En (Sangoi, 2022) se analizó la sensibilidad de los resultados de este tipo de estudios a las distintas variables intervinientes considerando la norma AEA 92606.

En este trabajo se implementa un algoritmo que permite hacer estudios de Arc-Flash bajo la norma IEE1584 cualquier punto de una instalación eléctrica. Luego se implementa una interfaz de usuario sencilla que facilita su empleo en la evaluación de riesgo de instalaciones industriales. Dados los alcances de la norma, el calculador puede aplicarse en instalaciones eléctricas con tensiones nominales comprendidas entre 208V y 15000 V.

Metodología

Se implementó un calculador numérico con una interfaz de usuario sencilla mediante un algoritmo programado en Python. En el calculador se implementaron las ecuaciones detalladas en la norma IEE1584-1. El procedimiento de cálculo consiste en aplicar una serie de ecuaciones de manera correlativa y jerárquica. En este procedimiento, las variables de entrada son ***Ec*** (Configuración de los electrodos), ***Voc*** (Tensión de línea en vacío), ***Altura***, ***Anchura***, ***Profundidad*** (Dimensiones del recinto de los electrodos), ***G*** (Distancia entre electrodos), ***D*** (Distancia de trabajo), ***Ik*** (Corriente de cortocircuito trifásica simétrica), ***Tmáx*** (Tiempo de actuación de la protección para el valor de corriente de arco máxima), ***Tmín*** (Tiempo de actuación de la protección para el valor de corriente de arco mínima). Las variables a determinar por el algoritmo son ***Iarc*** (Corriente de arco, valores máximos y mínimos), ***Ei*** (Energía incidente para valores máximos y mínimos), ***AFB*** (Límite de proximidad al arco eléctrico para valores máximos y mínimos), ***Cf*** (Factor de corrección de las dimensiones del recinto de los electrodos). Según las condiciones de la instalación, estas variables pueden adquirir valores mínimos y máximos que deben considerarse en el cálculo; a su vez, los procedimientos a aplicar pueden ser distintos según se trate de sistemas en baja tensión (LV: *Low Voltage*) o alta tensión (HV *Hight Voltage*). La figura 1 muestra la secuencia de pasos a seguir en el proceso de cálculo para los valores máximos. Un procedimiento similar se implementa para la determinación de valores mínimos.

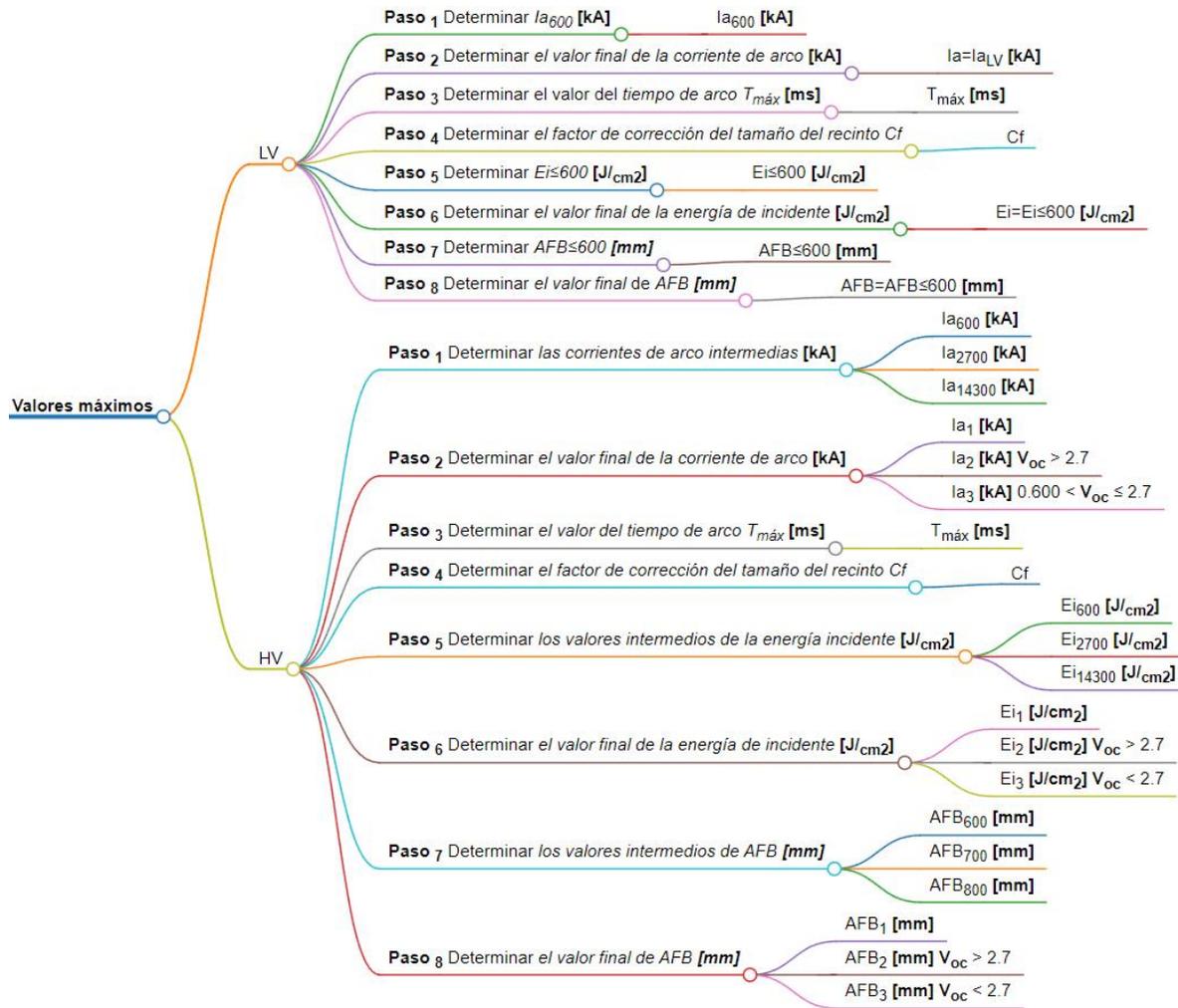


Figura 1 – Resumen del proceso de cálculo para la obtención de los valores máximos según IEE 1584.

A modo de ejemplo, las ecuaciones [1]-[4] permiten determinar el valor de la corriente de arco en sistemas de HV, la corriente de arco que se utiliza en sistemas de LV, la corriente de arco para valores mínimos, y el factor de corrección de la corriente de arco mínima.

$$I_{arc Voc} = 10^{(k1+k2 \log Ik+k3 \log G)}(k4I_k^6 + k5I_k^5 + k6I_k^4 + k7I_k^3 + k8I_k^2 + k9I_k + k10) \quad (1)$$

$$I_{arc} = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{0.6}{V_{oc}}\right]^2 \times \left[\frac{1}{I_{arc600}^2} - \left(\frac{0.6^2 - V_{oc}^2}{0.6^2 \times I_k^2}\right)\right]}} \quad (2)$$

$$I_{arc min} = I_{arc} \times (1 - 0.5 \times VarCf) \quad (3)$$

$$VarCf = k1V_{oc}^6 + k2V_{oc}^5 + k3V_{oc}^4 + k4V_{oc}^3 + k5V_{oc}^2 + k6V_{oc} + k7 \quad (4)$$

Los valores de las constantes k dependen del valor de tensión y ciertas características de la instalación.

Una vez terminado el proceso de cálculo, los resultados deben plasmarse en una etiqueta de advertencia que se coloca en el punto correspondiente de la instalación. El algoritmo desarrollado permite también imprimir dicha etiqueta de manera automática. Para validar el desempeño del calculador, se compararon los resultados para distintos escenarios con los resultados de la calculadora genérica “jCalc” (jCalc.net). Los resultados de este proceso mostraron que el algoritmo se programó correctamente.

Resultados

Con el objetivo de ilustrar la aplicabilidad de la calculadora, se presentan a continuación dos ejemplos en instalaciones con distintos niveles de tensión.

Caso1: Se trata de una instalación de media tensión, los datos de entrada al algoritmo se detallan en la tabla 1. Dichos datos surgen de un relevamiento de campo en la instalación y un estudio de cortocircuito/selectividad previa. En la figura 2 se muestra la interfaz gráfica del calculador con los datos que el usuario debe cargar. En la tabla 2 se muestran los resultados arrojados por el calculador y en la figura 3 se muestra la etiqueta que arroja el calculador.

Ec	Voc [kV]	Altura [mm]	Anchura [mm]	Profundidad [mm]	G [mm]	D [mm]	Ik [kA]	Tmáx [ms]	Tmín [ms]
VCB	4,160	1143	762	0	104	914,4	15	197	223

Tabla 1 – Datos de entrada correspondientes al Caso 1.

Calculadora de Arc-Flash

Norma IEE 1584-2018

Configuración de electrodos

VCB ▼

Voc [kV]	Altura [mm]	D [mm]
4,16 - +	1143,00 - +	914,00 - +
Ik [kA]	Anchura [mm]	G [mm]
15,00 - +	762,00 - +	104,00 - +
Tmáx [ms]	Profundidad [mm]	
197,00 - +	0,00 - +	
Tmín [ms]		
223,00 - +		

Calcular

Generar Etiqueta

Figura 2 – Interfaz gráfica de la calculadora para interacción con el usuario

Ia		Ei		AFB		CF
[kA]		[J/cm2]		[mm]		
Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	
12,979	12,675	12,152	13,343	1606	1704	1,284

Tabla 2 – Resultados arrojados por el calculador para el Caso 1

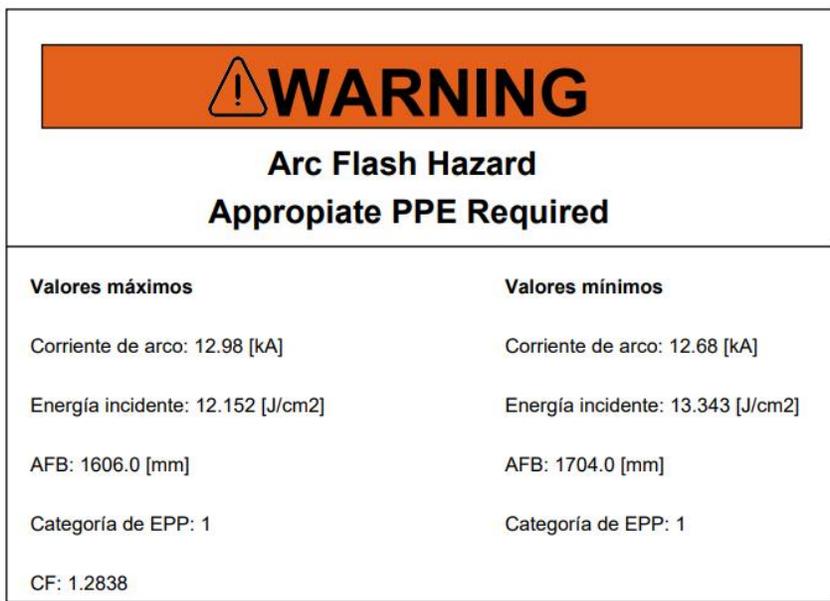


Figura 3 – Etiqueta resultante arrojada por el algoritmo para el caso 1

Caso 2: Se trata de una instalación de baja tensión; los datos de entrada al algoritmo se detallan en la tabla 3. En la tabla 4 se muestran los resultados arrojados por el calculador.

Ec	Voc [kA]	Altura [mm]	Anchura [mm]	Profundidad [mm]	G [mm]	D [mm]	Ik [kA]	T _{máx} [ms]	T _{mín} [mm]
VCB	0,480	610	610	254	32	609,6	45	61,3	319

Tabla 3 – Datos de entrada correspondientes al Caso 2.

Ia [kA]		Ei [J/cm2]		AFB [mm]		CF
Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	
28,79	25,24	11,585	53,156	1029	2669	1,0847

Tabla 4 – Resultados arrojados por el calculador para el Caso 2.

En el caso 1 los resultados arrojan valores de energía incidentes máximos de 13,34 J/cm², lo cual hace que en dicho punto los operarios deben usar equipos de protección personal clase 1 y respetar distancias de seguridad mínimas de 1,606 m. En el caso 2, si bien la instalación opera con tensiones menores, las corrientes de cortocircuito son notablemente mayores, lo cual origina corrientes de arco y valores de energía incidente superiores. Para este caso, tanto la categoría requerida para los EPP como así también las distancias de seguridad a exigir resultan mayores.

Conclusiones

La evaluación de riesgos en el ámbito de las instalaciones eléctricas es muy importante, y los estudios de Arc-Flash representan una importante herramienta para minimizar dicho riesgo. En la actualidad, este tipo de estudios está tomando cada vez más

relevancia. Las normas AEA 92606, NFPA 70E y el estándar IEE1584 son referencias en este tipo de análisis. El calculador propuesto, junto con su interfaz gráfica amigable, constituye una herramienta importante para evaluar riesgos en instalaciones eléctricas. Como trabajo futuro, se propone usar esta herramienta para llevar a cabo un estudio de Arc-Flash en una instalación eléctrica de potencia (13,2/0,4 kV) de la ciudad de Santa Fe.

Referencias bibliográficas

National Fire Protection Association (NFPA), “Standard for Electrical Safety in the Workplace, NFPA 70E.” 2012.

Asociación Electrotécnica Argentina, “AEA 92606: Arco eléctrico. Cálculo de magnitudes de los efectos térmicos y su protección.” 2016

Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE Standard 1584 Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations,” 2018.

Sangoi, E. (2022). Estudio de Riesgo por Arco Eléctrico Según AEA 92606. Análisis de Sensibilidad de Resultados. Argencon 2022.

jCal: Online Arc Flash Calculator IEEE 1584, recuperado de: <https://www.jcalc.net/arc-flash-calculator-ieee>