



OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CONOCOTO, QUITO - ECUADOR

David Sarzosa¹, Julián Chipugsi¹, Hugo Caicedo¹, Luis Murillo², Brigitte Peña¹

¹Departamento de Eléctrica y Electrónica. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. ²Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. sadavid@espe.edu.ec

ASA/EX 2020-14

Recibido: 13-07-2020

Aceptado: 31-07-2020

RESUMEN

En cualquier ambiente laboral, los trabajadores, están expuestos a riesgos físicos, los cuales pueden afectar su desempeño, causar daño a su salud, incapacidad temporal, e incluso la muerte, entre los accidentes y riesgos más comunes son las descargas eléctricas atmosféricas, las cuales son responsables de muchas de las muertes por accidentes laborales debido a el remanente de energía que puede ser transmitido a los equipos y edificaciones, por lo que fue indispensable optimizar el sistema de Puesta a Tierra (SPAT) para minimizar este tipo de accidente laboral. En este sentido, se realizó el diagnóstico de la resistividad del terreno, sistema de puesta a tierra y sistema de pararrayos, de la planta de tratamiento de Conocoto, en el cantón de Quito, provincia de Pichincha, con el objetivo de cumplir con la normativas ecuatorianas de bioseguridad (IEEE 80 Std. 2000 y CTE DB-SUA 8.), que para garanticen el correcto dimensionamiento de las mallas de tierra implementadas con el fin de proteger al personal de las tensiones peligrosas y optimizar el valor de resistencia de las mallas de tierra. Los resultados encontrados muestran que el uso del intensificador de terreno (GEMe) mejoró a resistividad del terreno que rodea las varillas y conductor eléctrico, ayudando a mantener su humedad sin considerar las estaciones climáticas y reduciendo los riesgos de daños físicos por transmisión de tensiones superiores de los valores máximos permitidos a edificaciones e infraestructura derivadas de descargas eléctricas, atmosféricas la optimización del sistema puesta a marcha reducirá los accidentes laborales y mejorara la seguridad de los trabajadores del sistema de tratamiento de aguas.

Palabras Clave: accidentes, bioseguridad, normativa laboral, riesgos laborales.



OPTIMIZATION OF THE GROUNDING SYSTEM AT THE CONOCOTO TREATMENT PLANT, QUITO - ECUADOR

ABSTRACT

In any work environment, workers are exposed to physical risks, which can affect their performance, cause damage to their health, temporary disability, and even death. Among the most common accidents and risks are atmospheric electrical discharges, which are responsible for many of the deaths from work accidents due to the remaining energy that can be transmitted to equipment and buildings, so it was essential to optimize the Grounding System (SPAT) to minimize this type of work accident. In this regard, a diagnosis was made of the soil resistivity, grounding system, and lightning rod system at the Conocoto treatment plant in the canton of Quito, province of Pichincha, in order to comply with Ecuadorian biosafety regulations (IEEE 80 Std. 2000 and CTE DB-SUA 8.), which guarantee the correct sizing of the grounding meshes implemented to protect personnel from dangerous voltages and optimize the resistance value of the grounding meshes. The results found show that the use of the ground intensifier (GEMe) improved the resistivity of the soil surrounding the rods and the electrical conductor, helping to maintain its humidity regardless of the climatic seasons and reducing the risks of physical damage due to the transmission of voltages above the maximum values allowed for buildings and infrastructure resulting from electrical and atmospheric discharges. The optimization of the system implemented will reduce occupational accidents and improve the safety of workers in the water treatment system.

Keywords accidents, biosecurity, labor regulations, occupational risks.



INTRODUCCIÓN

En el ambiente los fenómenos meteorológicos se producen descargas eléctricas, las cuales pueden afectar el funcionamiento de los equipos electrónicos e incluso causar daños a las por la transmisión de energía cuando no se emplean sistemas de protección (Ricaldi et al. 2018).

Aunque la probabilidad de que ocurra un evento de esta magnitud es baja, la severidad de los daños es alta, por lo que deben tomarse las medidas de seguridad adecuadas, como el uso de pararrayos (Alba et al. 2018) y sistemas de puesta a tierra (SPAT) (Mercado et al. 2017), los cuales son denominados comúnmente como SPAT, cuyo propósito es evitar que la energía producida por la descarga eléctrica se transmita a equipos y edificaciones.

Aunque todas las empresas deben estar provistas de estos sistemas, la falta de mantenimiento y el tiempo de uso, hace que los mismos no funcionen de manera eficiente, lo que amerita una solución inmediata, dado que de no hacerlo seguirá el daño en los equipos, las

perturbaciones en la red e inclusive el peligro para las personas que trabajan en la planta (Zhang, 2019); al existir descargas atmosféricas y remanentes de energía, cuya transmisión puede incluso causar la muerte de las personas (Mercado et al. 2017).

Por lo mencionado anteriormente se hace necesario la colocación de un SPAT que conduzca al terreno la corriente eléctrica residual, derivadas de las descargas atmosféricas, que pudieran aparecer de manera inadvertida, limitando la tensión de toque accidental y establecer un mismo potencial en todo el lugar y momento (Verdugo et al. 2018); de tal manera de reducir la tensión residual y evitar que equipos y personas sean vulnerables a sufrir daños (Gallardo et al. 2020).

Si bien una de las funciones de los SPAT es minimizar el daño a los equipos y redes de comunicación, el compromiso social de las empresas, debe estar centrado en minimizar los riesgos laborales que pueden ocurrir en las misma, en este caso en una planta de tratamiento de aguas, las cuales son



condicionadas por múltiples factores que pueden comprometer la salud e integridad de los trabajadores (Pérez y Suarez, 2018), con el agravante de que cualquier afectación en la salud del personal va a disminuir su desempeño (Brocal et al. 2019), así mismo los riesgos laborales ocasionados por descargas eléctricas, ponen en peligro a los trabajadores causando problemas de incapacidad temporal y permanente (Sosa et al. 2016), lo que acarrea ausentismo, afectando seriamente la gestión de la empresa y poniéndola en riesgo de sanciones por el incumplimiento de las normas ecuatorianas de bioseguridad.

Para la reducción de los riesgos físicos asociados a las descargas eléctricas, además del cumplimiento de la normativa ecuatorianas (IEEE 80 Std, 2000 and CTE DB-SUA 8), los encargados de la gestión y administración del sistema de tratamiento de agua deben establecer protocolos de seguridad y mantenimiento de los equipos como pararrayos y SPAT (Molina y Quishpe, 2018), cuyo propósito es preservar la seguridad de los trabajadores, reducir el

daño a equipos y sistema de comunicaciones, en tal sentido para la disminución de los riesgos asociados a las descargas eléctricas y la generación de tensiones residuales, deben cumplirse con las normas de uso de los equipos, así como las normas de bioseguridad, en el ambiente de trabajo (Hog et al. 2019).

Como se mencionó anteriormente un óptimo SPAT, es el que envía las corrientes derivadas de las descargas atmosféricas a la tierra, para la protección de equipos y seguridad a los operarios por los choques eléctricos provocado por el contacto de materiales metálicos energizados, es por ello que todos los equipos eléctricos, electrónicos, carcazas, gabinetes, raecks y cualquier otro componente metálico de estos sistemas deben ser apropiadamente aterrizados, en este sentido el objetivo de esta investigación fue optimizar el sistema de puesta a tierra (SPAT) para garantizar la bioseguridad del personal de la planta de tratamiento de agua Conocoto, Quito-Ecuador y reducir los riesgos laborales por la exposición a altas tensiones.

MATERIALES Y MÉTODOS



Ubicación geográfica de la investigación

La Planta de tratamiento de agua Conocoto está ubicada en Ontaneda Alto a una elevación de 2887 msnm, sus coordenadas son: O 78°30'40.51'' S00°17'40.57'' (Figura 1). Empezó su operación en diciembre de 1994. Las fuentes de captación son el Río Pita (Cotopaxi) y La Mica, Quito Sur, provincia de Pichincha. Su capacidad de tratamientos de 200 l s⁻¹



Figura 1. Ubicación de la planta de tratamiento de agua de Conocoto, provincia de Pichincha, Ecuador.

Ubicación del sistema SPAT

El sistema de puesta a tierra evaluado está ubicado en la Planta de tratamiento de agua Conocoto en la provincia de Pichincha, en el cantón de Quito, el sistema está dispuesto dentro de la planta de tratamiento como se describe a continuación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Disposición de Sistema de Puesta a Tierra de la planta de tratamiento de agua de Conocoto.

SPAT	Datos	SPAT.Atmosférico	Nombre	Ubicación
X			M1	A lado del cuarto del generador de emergencia
		X	MP1	Bajo la torre de la radio municipal
		X	MP2	Bajo la torre del medio
		X	MP3	A lado del cuarto de válvulas de distribución
	X		MTD	A lado del cuarto de válvulas de distribución.

Para evaluación de las normas de bioseguridad en la planta de tratamiento, el primer paso fue el diagnóstico de las condiciones del sistema de protección, SPAT y pararrayos, así como la resistividad del terreno.

Resistividad del terreno

La resistividad se cuantificó a través del método Wenner (Valencia y García, 2011), usando para ello un analizador de terrenos digital, modelo 6471 marca AEMC INSTRUMENTS.



Para ello se midieron cada uno de los componentes del sistema de protección, los cuales se describen a continuación.

Mediciones de las mallas de tierra físicas

Se usó el telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER”, el cual permitió comprobar, que los valores estén dentro de las normas vigentes y de no ser así, tomar medidas correctivas en el SPAT. Para la determinación se empleó el método del 62% (Reyes y Cruz, 2017) para medir la resistencia en las mallas de puesta a tierra.

Diagnóstico de la malla M1

El generador de emergencia, el tablero de transferencia automática y el de distribución principal se encontraban conectados a la malla M1, siendo una malla de protección o de fuerza, debido a esto fue necesario aplicar la metodología de la norma IEEE 80, con el fin de demostrar si la configuración actual asegura la protección del personal ante tensiones de toque y paso tolerables.

Diagnóstico de la malla MP1; MP2, MP3 y MTD

Las mediciones de resistencia se hicieron usando el telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER”, (Figura 2), el cual permitió comprobar si dichos valores estuvieron dentro de las normas vigentes.



Figura 1. Telurómetro analógico HIOKI “3151 EARTH HiTESTER”.

Mediciones de la resistencia de puesta a tierra (PAT) en los tableros secundarios y de control.

La cuantificación de la de resistencia se hicieron usando el medidor de pinza





HEME GEO 30 (Figura 3), en los tableros, lo cual incluyó el cuarto de generador de emergencia tanque de consumo interno, tanque de lavado de filtros y balanza de cloro.

Figura 3. Medidor de resistencia de puesta a tierra (PAT) tipo pinza. HEME GEO 30.

Diagnóstico del sistema de pararrayos

La evaluación se realizó considerando los parámetros: frecuencia esperada de impactos (NE); Densidad de Impactos de Rayos a tierra por Km^2 al año (Na); Área de captura equivalente del edificio (Ae); N° **impactos/año**, riesgo admisible y cálculo de eficiencia de instalación.

Optimización del SPAT

Para realizar la modificación e implementación de mallas de tierra dentro SPAT de la planta de tratamiento de Conocoto, fue necesario tomar en consideración algunas especificaciones: Diseño y construcción de mallas de tierra (corriente límite tolerable del cuerpo, tensión de toque y paso, selección de conductor de puesta a tierra, para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones

comerciales los valores de referencia van desde 1 a 5 Ω según la norma del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de Ecuador (IEEE). Std 80-2000.

Según la norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-11), en las instalaciones electromecánicas, se debe considerar: Valores máximos de tensión de toque aplicada al ser humano según lo establecido en la normas; la interconexión de mallas de tierra mediante bobinas de choque; mínimo calibre del conductor en sistemas de puesta a tierra es 53,5 mm²; debe existir al menos un punto accesible de revisión; las uniones en las mallas de tierra deben hacerse con suelda exotérmica y la longitud mínima que debe tener el electrodo tipo varilla es 1.80 m.

Todas estas normas enlistadas anteriormente hicieron posible que la construcción de las mallas de tierra (MTCI y MBC) esté acorde a los parámetros y consideraciones de las mismas, haciendo que sean confiables y seguras.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar los riesgos de transmisión de remanentes de tensión luego de una tormenta eléctrica, el primer factor a evaluar fue la resistividad del terreno, en el Cuadro 1 se presentan los valores de

resistividad del terreno en 4 puntos del sistema de tratamiento: el cuarto generador de emergencia, el tanque de consumo interno, el tanque de lavado de filtro y el área donde están ubicadas las balanzas de cloro.

Cuadro 1. Valores de Resistividad del Terreno.

Medición	Ubicación cercana a:	Distancia entre picas (m)	Resistividad del terreno (Ω m)
1	Cuarto del generador de emergencia	4	51,6
2	Tanque de consumo interno	5	52,2
3	Tanque de lavado de filtros	5	42,8
4	Balanzas de Cloro	4	32,5

De acuerdo a los valores de resistividad se trata de un terreno vegetal húmedo, los valores medidos están parcialmente dentro del rango de 10 a 50 Ω . La Norma Española menciona que para terrenos vegetales húmedos su resistividad varía desde los 10 hasta los 50 Ω (Martínez et al., 2019), la resistividad del terreno depende la composición química del suelo (Melchers y Welss, 2018), el contenido de sales (Yi et al., 2019), la temperatura (Sun et al., 2020) y contenido de humedad (Salam et al., 2017), la textura del suelo (Al Rashid et al., 2018) y el grado de compactación del mismo (Pandey y Shukla., 2018).

Valores por debajo de 50 Ω no representan un riesgos que puedan afectar la integridad de los trabajadores que entren en contacto con los equipos y dispositivos que se encuentren dentro de esta área (Mercado et al., 2016) , sin embargo en 2 áreas en particular el riesgo de accidentes laborales por descargas eléctricas es mayor dado que la resistividad del terreno fue superior al valor máximo permitido en la norma, esto se refiere al área del cuarto generador de emergencia y el tanque de consumo interno, en las cuales se requiere el ajuste del sistema SPAT y el mantenimiento de pararrayos para



reducir la transmisión de energía remanente a los equipos y con ello el riesgo de choque eléctrico (Gallardo et al., 2020).

Los pararrayos conjuntamente con la malla de tierra, debieron haber enviado toda la descarga atmosférica a tierra sin poner en riesgo a los equipos de la planta, no obstante en la Planta de tratamiento de agua Conocoto las tensiones remanentes provenientes de descargas atmosféricas no son trasladadas a tierra, existiendo un residual muy alto de tensión y corriente que ingresan a los diferentes equipos, ocasionando daños en el lugar, afectando las comunicaciones y colocando en riesgo la salud de los trabajadores (Pantoja et al., 2017).

En este sentido, Domínguez et al. (2019), señalan que es obligatorio la existencia de un sistema de puesta a tierra, para la protección de personas, edificaciones y equipos electrónicos contra descargas atmosféricas, que causan señales de interferencia electromagnética y contactos indirectos por corrientes eléctricas (Dziula y Pas, 2018).

Tanto en el tanque de consumo interno como en el cuarto de la balanza de cloro, es necesario optimizar el sistema de mallas para la puesta a tierra. En este sentido, en el tanque de consumo interno con el uso del sistema SPAT, el valor de resistencia fue $3,35 \Omega$ es el cual es inferior a 5Ω , para la optimización de dicho valor de resistencia de malla, es decir, obtener un valor menor al calculado y preservar la resistencia de la malla de tierra, fue necesario utilizar aditivo químico (GEM) en la implementación de la malla de tierra (Sobolewski, 2018).

Así mismo en el área de balanza de cloro, el valor de 2.1Ω es aceptable ya que fue inferior a 5Ω , sin embargo para disminuir aún más dicho valor de resistencia de malla y conservar el valor de resistencia permanentemente sin considerar el estado climático, fue necesario utilizar aditivos químico (GEM) en la implementación de la malla de tierra (Lautner et al. 2019).

Para la disminución del riesgo de accidentes eléctricos dentro de cualquier ambiente laboral es necesario la evaluación del valor de resistencia de las



mallas de puerta a tierra, en la tabla 3, se presentan los valores de resistencia para 5 tipos de mallas (M1; MP1, MP2; MP3 y MTD) que corresponden a mallas de potencia, protección atmosférica y equipos de procesamiento de datos, cuyo valores oscilaron entre 1,5 y 9 Ω (Cuadro 2).

Con relación a la malla MP1, MP2 y MP3, las cuales son utilizada para desfogar la energía captada por los pararrayo, los valores de la resistencia fueron 3,6; 9,0 y 2,8 Ω respectivamente, los cuales fueron aceptable dentro de la norma (Martínez et al., 2019), que menciona que una malla para pararrayo no debe ser superior a 10 Ω , con respecto a la malla MTD, la cual tuvo un valor de resistencia de 2,8 Ω , el cual se encuentra dentro de los valores aceptados por la norma.

Cuadro 2. Valores de Resistividad del Terreno.

Puesta a tierra de:	Nombre	Valor (Ω)
De potencia	M1	1,5
	MP1	3,6
	MP2	9,0
	MP3	2,8
Equipos de procesamiento de datos	MTD	2,8

Así mismo se evaluó el sistema de pararrayos particularmente el pararrayo 1 (P1) y pararrayo 3 (P3), debido a que el pararrayo 2 (P2) se consideró que era innecesario en el área que estaba ubicado, la efectividad del sistema de pararrayos fue evaluada en función de la frecuencia de impactos; densidad de impactos; áreas de capturas y los coeficientes C1; C2; C3; C4 y C5, que consideran la cercanía a edificaciones, material de construcción; riesgos de incendios, presencia de restos de edificios y estado estructural del mismo, los resultados obtenidos para los factores evaluados se expresan en el Cuadro 3.

El Generador de emergencia, el tablero de transferencia automática y el tablero de Distribución Principal se encuentran conectados a la malla M1, siendo una malla de protección o de fuerza, cuya resistencia fue de 1.5 Ω , lo cual indica que está dentro de la normativa vigente, en la malla M1 se utilizó el material conductor (GEM), el cual ayudó a disminuir la resistividad del terreno y por lo tanto disminuir los riesgos de descargas, el cual hubiese sido de 3,6 Ω ,



sino se realizase el tratamiento químico respectivo (Gasik et al. 2017).

Cuadro 3. Sistema de protección de pararrayos.

Pararrayos	Parámetro	Valor	Observaciones
P1	Frecuencia de impacto (NE)	0,07	
	Densidad de impacto	8	
	Área de captura	18,029	
	Coefficiente C1	0,5	Cerca de árboles y edificios
	Coefficiente C2	1	Estructura de hormigón
	Coefficiente C3	3	Inflamable
	Coefficiente C4	1	Restos de edificios
P2	Frecuencia de impacto (NE)	0,10	
	Densidad de impacto	8	
	Área de captura	25,020	
	Coefficiente C1	0,5	Cerca de árboles y edificios
	Coefficiente C2	1	Estructura de hormigón
	Coefficiente C3	3	Inflamable
	Coefficiente C4	1	Restos de edificios
	Coefficiente C5	5	Edificio deteriorado

Con relación a los coeficientes que evalúan los riesgos ambos pararrayos presentan un creciente de 0,5 por encontrarse cercano a arboles u otros edificios de mayor altura lo cual reduce el riesgo de impacto (Najafi et al. 2019), caso contrario de que la edificación se encontrase aislada, con respecto al material de fabricación los riesgos son moderados al ser de hormigón están por debajo de los riesgos de una estructura de madera, pero con riesgos superiores a una estructura de acero (Garay et al. 2018).

Donde sí se incrementa el riesgo frente al impacto de rayos es lo referente a los

riesgos de incendio (Couto et al. 2019), dado que este valor presente el coeficiente más alto (3) al ser inflamable, el factor C4 fue calificado de moderado por ser restos de edificios con una ocupación temporal de los trabajadores cuyo riesgo es superior en el caso de que el edificio estuviese desocupado permanentemente, pero menor a los riesgos de los edificios con presencia permanente de personas, lo cual aumenta los riesgos de accidentes y por tanto las medidas de protección (Kasza y Kovacs, 2019), con respecto al factor C5 al ser un edificio deteriorado, se pueden ocasionar un impacto ambiental grave, en caso de



ocurrir una descarga por tormenta eléctrica, aumentando el riesgo de accidentes y daños al terreno y ecosistema aledaño (Haddad et al. 2018). Usando los coeficientes de evaluación de riesgo y los parámetros de frecuencia de impacto (NE); densidad de impacto y área de captura se calculó la frecuencia esperada (0,072) para ambos pararrayos la cual fue superior del riesgo admisible (0,036) por lo tanto se requiere el uso de los pararrayos a excepción del pararrayos 2 el cual fue considerado innecesario al presentar una frecuencia esperada inferior al riesgo admisible, en ambos casos la eficiencia de instalación de los pararrayos fue de 0,99 por lo que el sistema de pararrayo ofrece un nivel de protección 1, minimizando así los riesgos laborales (Chen et al., 2017).

Valores de resistencia de mallas una vez optimizado el Sistema SPAT

Con la ayuda del intensificador de terreno GEM se redujó los valores calculados en las mallas MTCI, la cual corresponde a la malla del cuarto del tanque de consumo interno y MBC, la cual corresponde a la malla del cuarto de balanzas de cloro, cuyos resultados se describen en el cuadro 4. Por lo que deja

en constancia la optimización del sistema de puesta a tierra de la planta de tratamiento de agua Conocoto.

Cuadro 4. Valores Calculados de Resistencias de Mallas vs. Valores Medidos.

Malla	Valor calculado (Ω)	Valor optimizado (Ω)
MT	3.35	1.8
CI		
MB	2.1	1.4
C		

Considerando todas las normas y procedimientos descritos se logró obtener en la malla de tierra "MTCI" el valor de 1.8 Ω , siendo este un valor apropiado ya que se encuentra dentro de la normativa IEEE (1-5) Ω . Al obtener 1.8 Ω de resistencia en la malla MTCI es un claro índice de que la malla se encuentra en buenas condiciones, conforme a las recomendaciones de la IEEE. Además, conforme a la configuración realizada, el valor de la resistencia de malla se redujo de 3.35 Ω a 1.8 Ω , logrando de esta forma optimizar este valor con el uso del intensificador de terreno GEM (Ramirez et al., 2016).

Con respecto a la malla MBC, considerándose que el valor máximo que deben tener las plantas industriales según la IEEE es 5 Ω y además, aplicando las normas ecuatorianas, el valor de



resistencia obtenido en la malla MBC, el cual fue 1.4Ω , es inferior al máximo establecido por la IEEE, en este sentido dado que el valor 1.4Ω como resistencia de la malla MBC está por debajo a las recomendaciones de la IEEE (1 a 5Ω), se concluye que MBC cumple con los parámetros establecidos, además, el valor de resistencia de malla sin tratamiento químico fue de 2.1Ω , por lo que se demuestra que dicho valor se optimizó utilizando el intensificador de terreno GEM (Ramírez et al. 2019).

Si bien las plantas de tratamiento cumplen una misión de protección ambiental, la cual busca garantizar el suministro de agua de calidad a las regiones urbanas de Ecuador, las actividades laborales deben cumplirse siguiendo los protocolos de bioseguridad, ya que dentro de la responsabilidad social de la empresa bien sea estatal o privada, está la protección de los trabajadores que cumplen labores dentro de la misma.

CONCLUSIONES

Los sistemas de mallas y sistemas de puesta tierra así como de pararrayos son necesarios para la minimización de los accidentes laborales atribuidos a las

descargas eléctricas, porque lo que la falta de mantenimiento y la no adecuación de los sistemas de protección ponen en riesgo la vida de los trabajadores de los sistemas de planta de tratamiento.

Las modificaciones realizadas al sistema de puesta en tierra mediante el uso de sistema de intensificación de terreno (GEM), mejoró la resistividad del terreno que rodea las varillas y conductor eléctrico, ayudando a mantener su humedad sin considerar las estaciones climáticas y minimizando los riesgos de accidentes laborales por la tensión residual de los equipos generadas por las descargas eléctrica.

El sistema SPAT cumple con las normativas establecidas por los organismos encargados de la administración eléctrica del Ecuador, por lo que la planta de sistema de tratamiento aplica los protocolos de seguridad correcto para la protección de los trabajadores.

REFERENCIAS

Al Rashid, Q., Abuel-Naga, H., Leong, E., Lu, Y., & Al Abadi, H. (2018) Experimental-artificial intelligence approach for characterizing electrical



- resistivity of partially saturated clay liners. *Appl. Clay Sci.*, 156, 1–10.
- Alba V., B., & Hernández Areu, O. (2018). Desempeño de modelos de pararrayos de óxido metálico frente a impulsos de corriente. *Ingeniería Energética*, 39(2): 65-75.
- Brocal, F., González, C., Komljenovic, D., Katina, P., & Sebastián, M. (2019). Emerging Risk Management in Industry 4.0: An Approach to Improve Organizational and Human Performance in the Complex Systems. *Complexity Article ID 2089763*, 1:10.
- Chen, Y., Lin, K., & Li, Y. (2017). Assessment to effectiveness of the new early Streamer emission lightning protection system. *International journal on smart sensing and intelligent systems* 10 (1), 108-123.
- Couto, F., Ikaunin, M., Salgado, R., Pinto, P., Viegas, T., & Pinty, J. (2019). Lightning modelling for the research of forest fire ignition in Portugal. *Atmospheric research* 242 e1049993.
- Dominguez, J., Martinez, G., Garrido, J., y Jimenez, J. (2019). Diseño de reingeniería del sistema de puesta a tierra de un transformador de 300 KVA. *Revista de Ingeniería Tecnológica* 3 (9), 1-7.
- Dziula, P., & Pas, J. (2018). Low Frequency Electromagnetic Interferences Impact on Transport Security Systems Used in Wide Transport Areas. *the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 12 (2), 251-258.
- Gallardo, C., Repetto, J., Yungan, L., & Quishpi, C. (2020). Pararrayo Multipuntas Tipo Franklin para Protección de Descargas Atmosféricas de Equipos Eléctricos y Electrónicos. *RECITIUTM*, 6(2), 137-154.
- Garay, R., Tapia, R., Castillo, M., Fernandez, O. y Vergara, J. (2018). Habitabilidad de edificaciones y ranking de discriminación basado en seguridad y sustentabilidad Frente a eventuales desastres Estudio de caso: viviendas de madera. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 2(2), 28-45
- Gasik, P., Mathis, A., Fabbietti, L., & Margutti, J. (2017). Charge density as a driving factor of discharge formation in GEM-based detectors. *Nuclear instruments and methods un physics research, detectors and associated equipment* 870, 116-122.
- Haddad, N., Fakhoury, I., & Akasheh, T. (2018). Notes on anthropogenic risks mitigation management and recovery of ancient theatres' heritage: Qualitative assessment and recommendation. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 8 (3), 222-256.
- Høg, E., Fournié, G., Hoque, M. Mahmud, R., Pfeiffer, D., & Barnett, T. (2019). Competing



- biosecurity and risk rationalities in the Chittagong poultry commodity chain, Bangladesh. *BioSocieties* 14, 368–392.
- Kasza, Z., & Kovacs, K. (2019). Risk Analysis About Lightning Protection for Buildings Focusing on Risk of Loss of Human Life. *Procedia manufacturing* 32, 458-465.
- Lautner, L., Fabbietti, L., Gasik, P., & Klemenč, T. (2019). High voltage scheme optimization for secondary discharge mitigation in GEM-based detectors *JINST* 14 P08024, 1-13.
- Martínez, L., Arreygue, J., Chavez, C. y Equihua, L. (2019). Medición de resistividad eléctrica de un suelo característico de Morelia, Michoacán, considerando el efecto de la compactación. *Ciencia Nicolaita* 77. 73-86.
- Melchers, R. & Wells, T. (2018). Correlation between soil electrical resistivity, polarisation resistance and corrosion of steel. *Journal Corrosion Engineering, Science and Technology* 53 (7), 524-530.
- Mercado V. y Peña J. (2016). Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 28(1), 99-105
- Molina Bautista, C. A., & Quishpe Gaibor, J. S. (2018). Deontología aplicada el mantenimiento de centrales de generación hidroeléctricas. *Caribeña de Ciencias Sociales*, (septiembre). <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/deontologia-ntenimiento-hidroelectricas.html>
- Najafi, A., Zare, K., & Nojovan, S. (2019). Risk-based scheduling of smart apartment building under market price uncertainty using robust optimization approach. *Sustainable cities and society* 48, e101549
- Pandey, L., & Shukla S. (2018) Effect of state of compaction on the electrical resistivity of sand-bentonite lining materials. *Journal of Applied Geophysics*, 155 208-216.
- Pantoja, J., Vera, S. Y Aviles, T. (2017). Riesgos laborales en las empresas. *Polo del conocimiento* 2 (5), 833-868.
- Perez, A. y Suarez, L. (2017). El enfoque a riesgos para fortalecer la gestión ambiental del sistema de Tratamiento de agua. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias* 3 (2), 1-10.
- Ramirez, I., Ramirez, M., & Salgado, E. (2019). Neural Network Model to Estimate Resistivity of Ground Enhancers Reinforced with Graphene Nano Particles for Transmission Lines. *Journal of nano research* 58, 139-150.
- Ramirez, I., Salgado, J., Gaona, E. y Sandoval, P. (2016). Grafeno y su uso en intensificadores químicos para sistema de puesta a tierra en



líneas de transmisión. Boletín IIE, 77-84.

Reyes, C. M., & Cruz, E. M. (2017). Análisis de técnicas para medición de la resistividad de terreno mediante modelado.

Ricaldi-Yarvi, E. L., Torrez-Santalla, R., Quispe, C., & Quispe-Mamani, J. (2018). Descargas eléctricas atmosféricas (DEA's-Rayos) características principales en el cielo Boliviano. *Revista Boliviana de Física*, 32(32), 12-19.

Salam, M., Rahman, Q., Peng, S., & Wen, F. (2017). Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* (2017) 5(2), 290–297

Sobolweski, K. (2018). Numeric and measurement analysis of earthing resistance in layered soil including GEM material. *Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*, 1-5.

Sosa Moreno, L. Ú., León Martel, J. J., Lugo Jáuriga, B., & Borges López, J. A. (2016). Muerte por fulguración. *Medicentro Electrónica*, 20(1), 11-17.

Sun, Q., Lyu, C. & Zhang, W. (2020). The relationship between thermal conductivity and electrical resistivity of silty clay soil in the temperature range – 20 C to 10 C. *Heat Mass Transfer* 56, 2007–2013

Valencia, J. D. C., y Garcia, E. G. (2011). Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el

estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del método de Wenner (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Eléctrica).

Verdugo, K., Aires, L., & Merchán, H. (2018). Contribución para la Implementación de una Red de Detección de Rayos en Ecuador. *Revista Politécnica*, 41(1), 17-24.

Yi, L., Hossam, A., Qais, R., & Md, F. (2019) Effect of pore-water salinity on the electrical resistivity of partially saturated compacted clay liners. *Advances in Materials Science and Engineering 2019*: 1-13.

Zhang, L., (2019). Induction Electric Hazard Prevention and Control Technology in Contact Network Maintenance Construction. *The Frontiers of Society, Science and Technology* 10 (1), 146-150.