



Aplicación del método ESDD/NSDD para evaluar contaminación en aislamientos de redes eléctricas

Application of the ESDD/NSDD method to, evaluate contamination in electrical grid insulation

Hernán Fabricio Vargas Freire^{I,*}, Michael Anthony Carbo Mendoza^{II}

^IUniversidad Técnica de Manabí, Ecuador

^{II}Universidad Estatal de la Provincia de Santa Elena, Ecuador

*Autor de la correspondencia: hvargas5904@utm.edu.ec

Recibido: 6 de septiembre de 2025

Aprobado: 20 de noviembre de 2025

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial4.0internacional](#)



RESUMEN/ ABSTRACT

Este estudio determinó el nivel de contaminación en los aisladores eléctricos del norte de Manabí y su impacto en el sistema eléctrico, con el objetivo de reducir fallas operativas y definir el nivel de aislamiento requerido. El mismo se llevó a cabo bajo la normativa IEC 60815-1 de 2008, y establece la relación entre la densidad de depósito de sal equivalente (ESDD) y la densidad de depósito no soluble (NSDD), además, se determinó las concentraciones de las muestras mediante análisis químico. Los resultados muestran que la proximidad al mar y las condiciones ambientales locales favorecen la acumulación de contaminantes, compuestos principalmente por sales y metales (cobre, zinc y plomo). La relación ESDD/NSDD indica contaminación entre media y fuerte, permitiendo generar un mapa de contaminación de la región para trabajos futuros, concluyendo que un dimensionamiento y mantenimiento adecuados del aislamiento son esenciales para garantizar un suministro eléctrico continuo en la zona.

Palabras clave: ESDD; NSDD; nivel de contaminación; aisladores; lixiviado.

This study determined the level of pollution on electrical insulators in northern Manabí and its impact on the electrical system, with the aim of reducing operational failures and defining the required insulation level. It was carried out under IEC 60815-1:2008 standards and established the relationship between the Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) and the Non-Soluble Deposit Density (NSDD). Furthermore, the sample concentrations were determined through chemical analysis. The results show that proximity to the sea and local environmental conditions favor the accumulation of pollutants, primarily composed of salts and metals (copper, zinc, and lead). The ESDD/NSDD ratio indicates a medium to high level of pollution, enabling the creation of a regional pollution map for future work. The study concludes that proper insulation sizing and maintenance are essential to ensure a continuous electricity supply in the area.

Keywords: ESDD; NSDD; pollution level; insulators; leachate.

INTRODUCCIÓN

La confiabilidad de las líneas de transmisión es un pilar fundamental para la estabilidad de los sistemas eléctricos. En los últimos años, se ha incrementado la investigación enfocada en los efectos de la contaminación ambiental en los aisladores eléctricos y su relación con las fallas en los sistemas. No obstante, persiste una notable escasez de datos estandarizados y estudios sistemáticos en regiones con climas específicos, como en la costa ecuatoriana.

Cómo citar este artículo:

Hernán Fabricio Vargas Freire y Michael Anthony Carbo Mendoza. Aplicación del método ESDD/NSDD para evaluar contaminación en aislamientos de redes eléctricas. Ingeniería Energética. Vol. 46(2025): publicación continua. ISSN 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

En [1-3], cuantificaron el impacto económico de las interrupciones en redes de transmisión, atribuyendo pérdidas millonarias anuales directamente a fallas en aisladores. Si bien este estudio destacó la criticidad del problema, no se adentró en los mecanismos específicos de fallo ni en las metodologías para cuantificar la contaminación. La investigación [4-7], analizó la naturaleza multifactorial de la contaminación, describiendo la relación entre los depósitos contaminantes y las condiciones ambientales como el desencadenante principal de las descargas disruptivas y flameos.

Lo dictado en [4-7], proporciona un marco teórico sólido sobre los tipos de contaminación y su distribución en los aisladores eléctricos, pero su aplicación requiere de métricas cuantitativas específicas para ser operativa en la gestión del mantenimiento. Para la gestión del riesgo [8, 9], enfatizaron que la evaluación de la severidad de la contaminación debe integrar variables como el material del aislador, las condiciones climáticas y el voltaje de operación. Este trabajo subraya la necesidad de un enfoque holístico, aunque no profundiza en la obtención práctica de los datos de campo necesarios para alimentar estos modelos de evaluación. La comunidad técnica, como lo documenta [10-12], ha estandarizado el uso de la densidad de depósito de sal equivalente (ESDD) y la densidad de depósito no soluble (NSDD) como las métricas clave para cuantificar de manera precisa el nivel de conductividad y resistividad en los aisladores.

Este estudio consolida la metodología de medición, pero la aplicabilidad de los valores ESDD/NSDD es altamente dependiente de la región geográfica y sus condiciones ambientales particulares. En contextos geográficos específicos [13-15], investigaron la correlación entre la salinidad ambiental, la velocidad del viento y la acumulación acelerada de contaminantes en zonas costeras, vinculando estos factores directamente con un mayor riesgo de corrientes de fuga y flashover. Estos hallazgos son cruciales para entender los patrones en zonas costeras; sin embargo, sus resultados no son directamente extrapolables a otras regiones costeras con dinámicas diferentes, como las tropicales. Para el control de la contaminación [16-18], enumeraron factores críticos como el tipo y material del aislante, el clima de la zona, el nivel de contaminación y el voltaje de trabajo, señalando también problemas derivados como la corrosión y la erosión y utilizando como métrica la densidad de depósito de sal equivalente (ESDD) en la zona litoral ecuatoriana. Este estudio ofrece un panorama comprehensivo de los factores de riesgos, pero la interacción de estos factores es tan específica del lugar y solo toman en cuenta la métrica ESDD, sin tener en consideración la NSDD.

Si bien existe un consenso sobre la criticidad de la contaminación en aisladores y se han establecido metodologías estandarizadas para su evaluación, la información disponible presenta una limitación significativa: la escasez de datos empíricos recogidos bajo las condiciones climáticas únicas de las regiones tropicales. Factores como la pluviosidad, la humedad relativa constante y los patrones de viento particulares de la costa de Ecuador podrían alterar sustancialmente los patrones de acumulación de contaminantes reconocidos en otras latitudes. Por lo tanto, este estudio busca llenar este vacío mediante un muestreo aleatorio y análisis estandarizado, con el objetivo de generar una base de datos local que permita optimizar las estrategias de mantenimiento predictivo y mejorar la confiabilidad de la red eléctrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caso de estudio

Para medir y analizar los niveles de contaminación ambiental que afectan el aislamiento de las redes eléctricas, se tomaron muestras de los depósitos de residuos en la superficie de aisladores ubicados en el territorio. Las muestras recolectadas se analizaron utilizando herramientas estadísticas para validar la hipótesis. Los puntos para la toma de muestras se pueden observar en la figura 1, en estos sitios se implementaron cadenas de aisladores situadas en poste. Las cadenas permitieron comparar los niveles de contaminación y su degradación en el intervalo de un año.

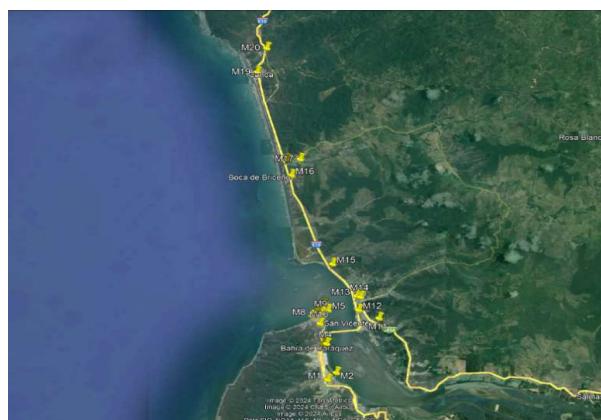


Fig. 1. Puntos de toma de muestras situados en el mapa. Fuente: (Autor)

El cálculo de los parámetros ESDD y NSDD se realizó siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos en la norma internacional IEC 60815-1 (2008), en [18, 19] especifica el protocolo estandarizado para la determinación de estos indicadores de contaminación en aisladores eléctricos.

La figura 2, presenta el diagrama de flujo del protocolo experimental. La recolección de muestras se extendió por un año, siguiendo la normativa IEC 60815-1:2008. Los aisladores se lavaron con agua destilada y los lixiviados se almacenaron en botellas plásticas de 400mL. La densidad de depósito de sal equivalente (ESDD) se cuantificó mediante conductimetría (equipo EC400S), mientras que la densidad de depósitos no solubles (NSDD) se terminó por gravimetría, filtrando las muestras en papel filtro y registrando la masa residual. Para el análisis químico, las muestras se sometieron a digestión acida en sistema de microondas (Mars 6) y posterior cuantificación de metales por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, iCAP 6000 Series). Este protocolo garantizó la caracterización completa de los contaminantes solubles e insolubles.



Fig. 2. Diagrama de flujo del análisis de las muestras. Fuente: (Autor)

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Análisis Y Discusión De Los Resultados Del Análisis De Los ESDD

La tabla 1, muestra la clasificación del nivel de contaminación mediante el método de densidad de depósito de sal equivalente (ESDD).

Tabla 1. Clasificación Internacional del nivel de contaminación, método ESDD. Fuente: IEC 60815-1

Nivel de Contaminación	ESDD (mg/cm^2)	Distancia de fuga específica mínima \square (mm/Kv)
Ligero	0.03 – 0.06	16
Mediano	0.06 – 0.10	20
Alto	0.10 – 0.30	25
Muy Alto	>0.30	31

La duración del proceso de recolección de las muestras se realizó en un periodo de 12 meses, iniciando en diciembre del 2021 y finalizando en noviembre del 2022. Durante los primeros tres meses de estudio, los niveles de contaminación por ESDD se presentan en la figura 3. Los resultados muestran un promedio de concentración de ESDD correspondiente a un nivel de contaminación ligero. Sin embargo, se registraron picos de contaminación significativos en las ubicaciones más cercanas a la línea costera, mientras que las zonas más alejadas del mar presentaron valores notablemente inferiores.

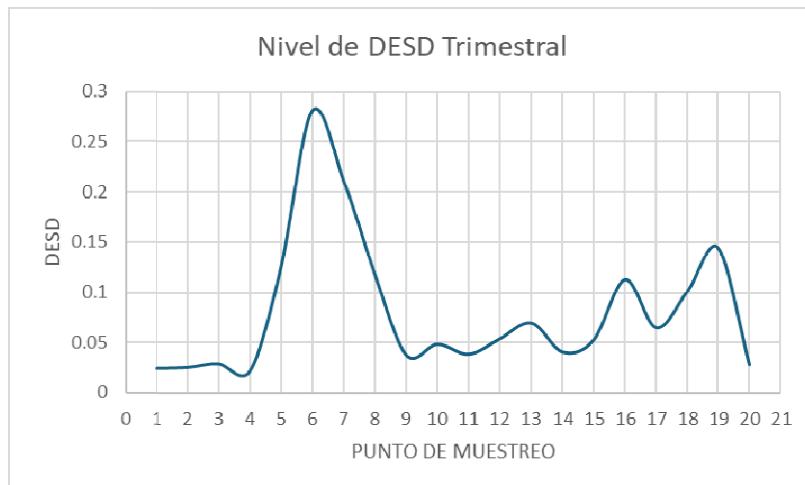


Fig. 3. Curva de contenido de DESD trimestral. Fuente: (Autor)

A lo largo de un período de doce meses (ver figura 4), se observa que el nivel de contaminación en los aisladores eléctricos alcanza un grado elevado, lo cual puede estar vinculado a una serie de factores ambientales que se manifiestan de manera significativa durante ciertas épocas del año. En particular, la llegada del verano juega un papel crucial en este fenómeno, ya que durante esta estación se reduce o incluso se pierde el lavado natural de los aisladores. Las lluvias, que durante otros meses ayudan a limpiar las superficies de los aisladores al remover depósitos de sal y otros contaminantes, se vuelven menos frecuentes o inexistentes en verano, lo que permite que los depósitos de sales y otras partículas continúen acumulándose sin interrupción.

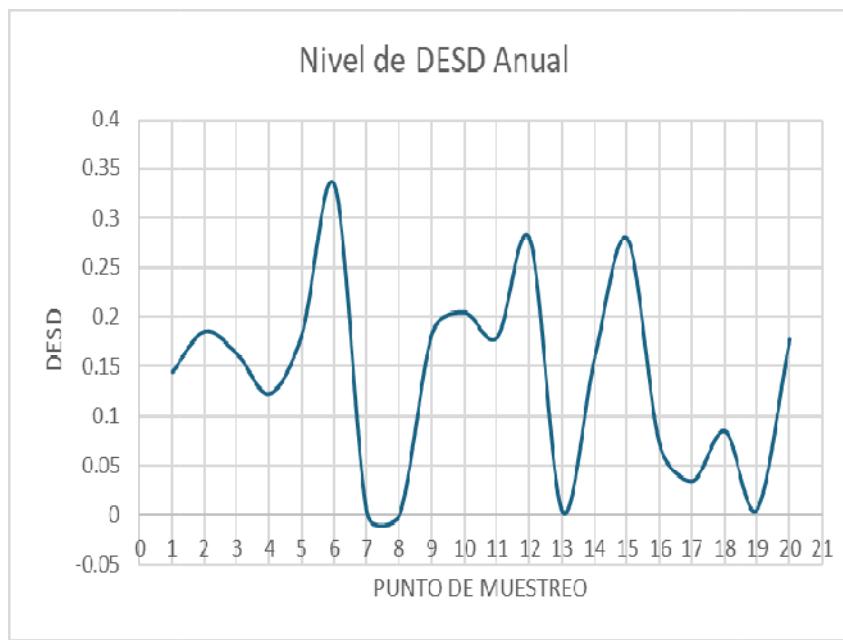


Fig. 4. Curva de contenido anual de DESD. Fuente: (Autor)

En la siguiente tabla 2, se muestran los valores máximos alcanzados en los períodos de 3, 6, 9 y 12 meses, dentro de este tiempo, los valores alcanzados fueron mayores o iguales a alto, siendo esto la peor situación contemplada. Se puede observar, además, que hay valores que disminuyen al pasar el tiempo, como de 3 meses a 6 meses, que, en vez de aumentar, disminuyó. Este fenómeno podría atribuirse a diversos factores ambientales, como las precipitaciones pluviales, que, al impactar sobre la superficie de los aisladores, facilitan el lavado de las sales y otros contaminantes, reduciendo así el nivel de ESDD presente en los mismos. Estos procesos naturales desempeñan un papel clave en la disminución de la acumulación de contaminantes en las superficies de los aisladores, lo que a su vez contribuye a mantener un nivel de contaminación relativamente bajo durante el período de observación.

Tabla 2. Resumen de valores máximos de ESDD en los tiempos medidos. Fuente: Autor

Duración	ESDD (mg/cm^2)	Nivel de Contaminación	Distancia de fuga específica (mm/kV)
3 meses	0.28145	Alto	25
6 meses	0.15522	Alto	25
9 meses	0.1612	Alto	25
12 mes	0.3327	Muy Alto	31

Análisis Y Discusión De Los Resultados De Los NSDD

El promedio de la cantidad de los depósitos no soluble en los aisladores eléctricos a lo largo del año se muestra en la figura 5.

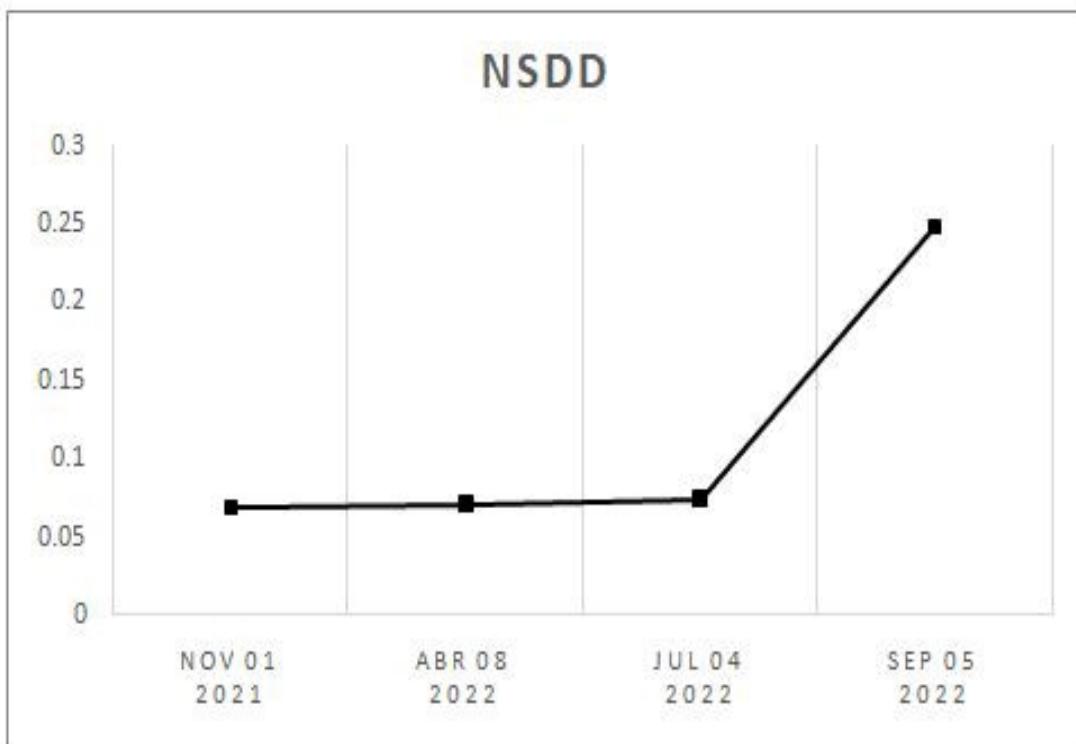


Fig. 5. Cantidad de NSDD a lo largo del año. Fuente: Carbo y Bravo. “Caracterización de la densidad de los depósitos no solubles”. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí; 2024

El número de NSDD se mantiene relativamente constante desde noviembre hasta junio, pero experimenta un incremento de hasta cinco veces entre julio y septiembre. Esta variación puede explicarse en función de las estaciones que afectan al ecuador: invierno y verano, tal como se muestra en el gráfico. Durante la estación seca, o verano, que abarca de junio a noviembre, la falta de precipitaciones limita el lavado natural de los aisladores, lo que resulta en un aumento significativo de los contaminantes, como se evidencia en el gráfico. Por otro lado, en el invierno, la densidad de los depósitos no solubles tiende a permanecer estable, debido al efecto de las lluvias que actúan como un mecanismo natural de limpieza.

Análisis Químicos De Los NSDD

A continuación, se presentan las concentraciones en partes por millón (ppm). Ver tabla 3.

Tabla 3. Concentraciones de los metales. Fuente: Carbo y Bravo. “Caracterización de la densidad de los depósitos no solubles”. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí; 2024

Muestras Analizadas	Concentración de Metales (ppm)											
	Al	Ca	Co	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm
M1	215,6	85,67	-1,17	1,79	475,8	70,9	125,3	6,78	33,76	-1,04	30,25	157,9
M2	220,7	106,3	-0,01	6,12	378,2	13,53	111,9	3,85	19,88	-1,53	34,35	142,8
M3	420,9	226,4	-0,08	1,93	801,5	53,12	258,3	7,53	31,02	-4,21	13,59	181,6
M4	205,4	126,5	0,83	3,13	379,9	31,19	116,7	2,7	29,17	-4,04	13,63	99,73
M6	479,3	638,5	0,7	139,7	733,4	55,46	215,4	6,33	78,15	-2,6	9,91	315,8
M7	394,7	201,5	0,4	6,1	729	73,73	220,3	8,27	42,24	-62,5	28,88	248,5
M8	201	99,87	0,77	1,6	349	44,5	98,46	3,82	48,89	-7,13	21,67	82,83
M9	567,4	280,1	0,27	8,75	960,6	73,12	288	8,33	62,45	-5,49	13,73	212,5
M10	555,1	248,6	0,24	3,94	896,6	82,3	257,2	9	124,1	3,97	-12,46	243,9
M11	317,6	136,2	0,03	2,27	716,7	39,61	136,6	4,07	69,73	-1,69	13,49	153,9
M12	189,6	111,5	-0,22	8,39	332,8	26,93	105,6	3,79	57,17	-2,37	21,86	446,4
M13	298,2	90,28	0,16	1,62	407,6	32,82	125	2,37	83,63	-2,04	13,12	40,92
M14	274	333,8	0,39	88,84	53	17,42	103,2	3,82	39,72	-1,37	38,27	237,6
M15	647,2	245,3	-0,5	4,25	975,7	111,3	309,7	9,3	137,3	-3,98	25,56	413,4
M16	280	81,71	0	5,55	428	22,08	139,3	2,6	89,02	-0,9	21,48	177,9
M17	206,5	64,9	0,36	2,26	282,7	14,87	85,25	2,24	39,07	-2,08	-11,25	138
M18	637,1	266,7	0,32	6,55	1575	75,38	322,5	11,62	91,33	-3,74	10,39	441
M19	799,6	274,3	0,81	82,22	1197	117,4	382,7	8,06	138,5	0,26	2,42	236,6
M20	305,1	142,1	0,5	2,1	3411	25,62	155,7	20,69	29,51	-5,15	39,53	1150

Las concentraciones varían significativamente entre las diferentes muestras y entre los diferentes metales analizados, por tomar un ejemplo, el aluminio, su rango va desde 189,6 ppm (M12) hasta 799,6 ppm (M19). Además, los metales con mayor concentración son el zinc y el hierro con 3411 ppm y 1150 ppm respectivamente. Los valores negativos que se muestran en la tabla 3, representan la ausencia de dicho metal. Algunas mediciones muestran concentraciones elevadas de ciertos metales y bajas en otros, lo cual puede ser indicativo de contaminación o características geológicas y temporales de las muestras específicas.

Análisis y Discusión De Los Resultados De ESDD/NSDD

Durante el proceso de recolección y medición de las muestras, se identificaron varios parámetros relacionados con la contaminación en el lugar, tales como la salinidad, conductividad, resistividad, ESDD y NSDD. Se dio especial atención a estos dos últimos, ya que, según la norma IEC de 2008 y [20], la contaminación del emplazamiento se evalúa a través de la relación entre la ESDD y la NSDD. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en este estudio, que reflejan la importancia de estos indicadores para comprender el nivel de contaminación en el área analizada.

Relación ESDD/NSDD frecuencia trimestral

La figura 6, muestra como varia de la relación ESDD/NSDD en la zona norte de Manabí durante un período de tres meses. Este promedio se encuentra dentro de la zona no restringida según lo estipulado por la normativa IEC60815-1. Al realizar la comparación con lo descrito en la normativa IEC 60815-1 se observa que la curva generada por los datos de las mediciones comienza en la zona de contaminación fuerte, atraviesa la zona de contaminación media y regresa a la zona de contaminación fuerte, cruzando dos veces la zona de transición sombreada. Dado que esta curva representa el área total estudiada, los rangos de contaminación fuerte corresponden a las ubicaciones cercanas a la costa, donde el aislamiento eléctrico está expuesto directamente al viento marino, que contiene altos niveles de sal. La parte de la curva que se encuentra en la zona de contaminación media proviene de puntos más alejados de la costa. El cruce por la zona de transición indica que, con el tiempo, es posible que toda el área se mantenga en un estado de contaminación fuerte. El nivel de contaminación para el lapso de 3 meses en la Zona Norte de Manabí según la normativa IEC se mantiene en fuerte.

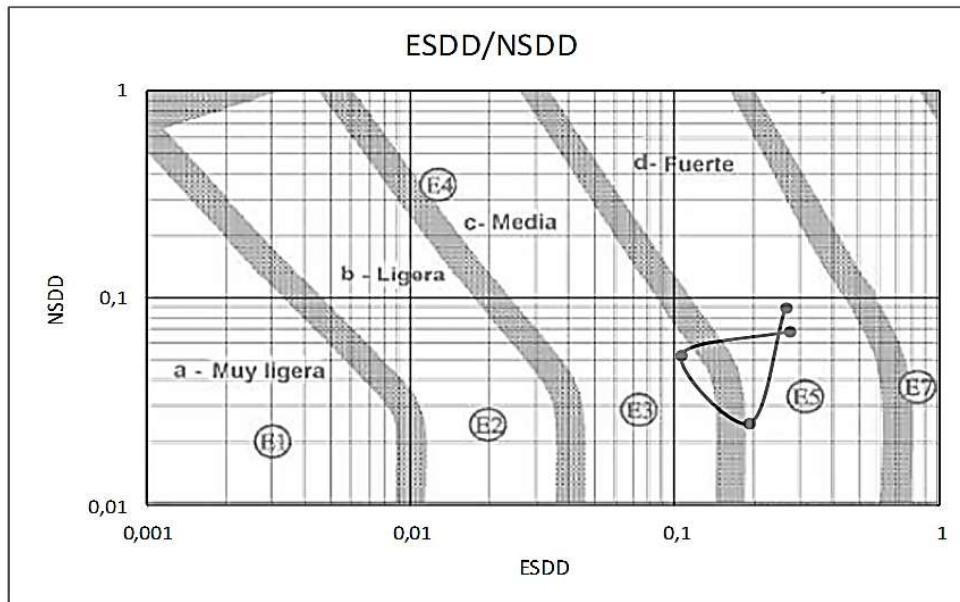


Fig. 6. Comparación trimestral de ESDD/NSDD con lo referenciado en IEC 60815-1. Fuente: (Autor)

Relación ESDD/NSDD frecuencia anual

La figura 7, presenta un promedio general del comportamiento de la contaminación en la zona norte de Manabí a lo largo de un año. Al realizar la comparación con lo descrito en la normativa IEC60815-1, se nota que la curva generada por los datos del estudio inicia directamente en la zona de contaminación fuerte y permanece en ella durante todo el año. Hacia el final, la curva se sitúa en la zona de transición entre contaminación fuerte y muy fuerte, lo que sugiere que, sin el debido mantenimiento, el nivel de contaminación del sitio podría seguir aumentando. Además, se observa como los valores de ESDD (Equivalente de Densidad de Sales Solubles) y NSDD (Densidad de Depósitos No Solubles) incrementa con el tiempo. Esto es lógico, ya que, a medida que pasa el tiempo, más partículas se acumulan en los aisladores.

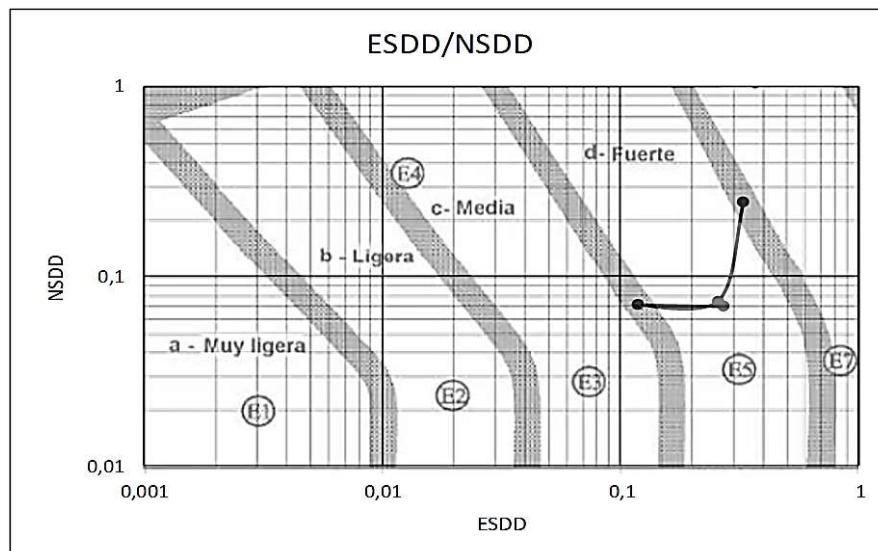


Fig. 7. Comparación anual de ESDD/NSDD con lo referenciado en IEC 60815-1. Fuente: (Autor)

Este comportamiento subraya la importancia de realizar un mantenimiento periódico para evitar un incremento sustancial en los niveles de contaminación, que podría comprometer tanto el rendimiento como la seguridad del emplazamiento. El nivel de contaminación para el lapso de un año en la Zona Norte de Manabí según la normativa IEC se mantiene en fuerte, entrando en la zona de transición hacia muy fuerte.

CONCLUSIONES

Los niveles de contaminación fueron nivel ligero medio en los primeros nueve meses, pero aumentaron hasta alcanzar valores fuertes hacia fin de año. Este incremento se debe a la falta de lluvias en verano, que impide el lavado natural de los aisladores y permitió la continua acumulación de los contaminantes. El método ESDD/NSDD evidenció que la contaminación oscila entre niveles medio y fuerte, siendo este último el más crítico y teniendo la distancia mínima específica de 25 mm/kV según (IEC 2008), si se hubiera usado solamente el método ESDD la distancia mínima específica hubiera sido 31 mm/kV, pero el considerar solamente la componente ESDD puede resultar como se demuestra en los resultados en un sobredimensionamiento del sistema, el cual se vería reflejado en el factor económico. Los depósitos contienen metales (Al, Fe, Cu, Pb, Zn) y sales que alteran la conductividad superficial. Estos resultados subrayan la necesidad de un mantenimiento periódico y un dimensionamiento adecuado del aislamiento para garantizar la fiabilidad del sistema eléctrico en la zona.

REFERENCIAS

- [1].Castillo, W., et al. “Impacto ambiental en las redes eléctricas próximas al litoral manabita”. Rev Cubana Ing. 2018, vol. 9, n. 3, p. 69-77. ISSN 2223-1781. Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/521/pdf>
- [2].Nasimba, V., and Ocampo, E. “Introducción a las líneas de transmisión”. Ediciones Grupo Compás. Ecuador. 2020. ISBN 978-9942-33-474. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/368926484_Introduccion_a_las_lineas_de_transmision
- [3].Yang, L., et al. “Evaluation of wetting condition and its effects on pollution flashover voltage of aerodynamic insulators”. IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insulation. 2016, vol. 23, n. 5, p. 2875–2882. ISSN 1558-4135. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7736848>
- [4].Mahdjoubi, A., et al. “Fixed least squares support vector machines for flashover modelling of outdoor insulators”. Electr Power Syst Res. 2019, vol. 173, p. 29-37. ISSN 1873-2046. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779619301026?via%3Dihub>
- [5].He, Z., et al. “Analysis of natural contamination components and sources of insulators on ±800 kV DC lines”. Electr Power Syst Res. 2019, vol. 167, p. 192-198. ISSN 1873-2046. Disponible en:
<https://www.scilit.com/publications/195ace9b050cbbd3ffbb6a388ed2ed26>
- [6].Jiang, M., et al. “Dust contamination on surface of transmission line insulators in air-polluted regions in China: statistical characteristics, adhesion mechanism, and environmental impact factors”. Environ Sci Pollut Res. 2020, vol. 27, p. 23643-23654. ISSN 1614-7499. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32297113/>
- [7].Liu, Y., et al. “Contamination deposition and discharge characteristics of outdoor insulators in fog-haze conditions”. Int J Electr Power Energy Syst. 2020, vol. 121. ISSN 1879-3517. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/341517366_Contamination_deposition_and_discharge_characteristics_of_outdoor_insulators_in_fog-haze_conditions
- [8].Sanz, H., and Santos, M. “Research on the pollution performance and degradation of superhydrophobic nano-coatings for toughened glass insulators”. Electr Power Syst Res. 2021, vol. 191. ISSN 1873-2046. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779620306611?via%3Dihub>
- [9].Aguilar, J. “Metodología para calcular el Campo Eléctrico y el Campo Magnético de las Líneas de Transmisión en HVDC”. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado Morelos. Cuernavaca, México, 2021. Disponible en: <http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1974/AUMJRR02T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10].Volpov, E., and Kishcha, P. “An advanced technique for outdoor insulation pollution mapping in the israel electric company power grid”. IEEE Trans Dielectr Electr Insul. 2017, vol. 24, n. 6, p. 3539-3548. ISSN 1558-4135. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8315277>
- [11].Zha, H., et al. “The Characteristic Analysis of ESDD and NSDD Detection of Composite Insulators Based on Hyperspectral Technology”. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2023, vol. 72. ISSN 1557-9662. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/368588874_The_Characteristic_Analysis_of_ESDD_and_NSDD_Detection_of_Composite_Insulators_based_on_Hyperspectral_Technology
- [12].Ang. R., et al. “Influence Analysis and Prediction of ESDD and NSDD Based on Forests”. Energies. 2017, vol. 10, n. 7, p. 878. ISSN 1996-1073. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/318074184_Influence_Analysis_and_Prediction_of_ESDD_and_NSDD_Based_on_Random_Forests
- [13].Arias, R., and Mejia, J. “The need of creating a new nominal creepage distance in accordance with heaviest pollution 500 kV overhead line insulators”. Engineering Failure Analysis. 2018, vol. 86, p. 21-32. ISSN 1350-6307. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630717310531?via%3Dihub>

- [14]. Mohammadnabi, S., and Rahmani, K. “Influence of humidity and contamination on the leakage current of 230-kV composite insulator”. Electr Power Syst Res. 2021, vol. 194. ISSN 1873-2046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877962100064X?via%3Dihub>
- [15]. Nekahi, A., et al. “Measurement of surface resistance of silicone rubber sheets under polluted and dry band conditions”. Electr Eng. 2018, vol. 100, p. 1729–1738. ISSN 1432-0487. Disponible en: <https://researchonline.gcu.ac.uk/en/publications/measurement-of-surface-resistance-of-silicone-rubber-sheets-under/>
- [16]. Castillo, R., et al. “Assessment of the risk of failure of high voltage substations due to environmental conditions and pollution on insulators”. Environ Sci Pollut Res Int. 2015, vol. 22, n. 12, p. 9749-9758. ISSN 0944-1344. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25634366/>
- [17]. Washington, C., and Miguel, C. “Análisis del posible impacto de la contaminación ambiental sobre las redes eléctricas de la región Manta-Montecristi”. Rev Univ Soc. 2022, vol. 14, n. 4, p. 9. ISSN 2218-3620. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000400531
- [18]. Cao, B., Wang, L., and Yin, F. “A low-cost evaluation and correction method for the soluble salt components of the insulator contamination layer”. IEEE Sens J. 2019, vol. 19, n. 13, p. 5266-5273. ISSN 1558-1748. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8654623>
- [19]. Slama, M., et al. “Experimental Study and Modeling of the Effect of ESDD/NSDD on AC Flashover of SiR Outdoor Insulators”. Energies. 2022, vol. 15, n. 10. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/10/3782>
- [20]. Montoya, G., et al. “Correlation among ESDD, NSDD and leakage current in distribution insulators”. IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution. 2004. vol. 151, n. 3, p. 334-340. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/3355027_Correlation_among_ESDD_NSDD_and_leakage_current_in_distribution_insulators

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Hernán Fabricio Vargas Freire: <https://orcid.org/0009-0003-9518-4542>

Participó en revisión del estado del arte, diseño y validación de modelo teórico, recolección de datos, realización de aplicaciones, trabajo estadístico, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.

Michael Anthony Carbo Mendoza: <https://orcid.org/0000-0002-7151-4143>

Participó en revisión del estado del arte, diseño y validación de modelo teórico, recolección de datos, realización de aplicaciones, trabajo estadístico, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.