

55

Fecha de presentación: febrero, 2022

Fecha de aceptación: mayo, 2022

Fecha de publicación: julio, 2022

ANÁLISIS

DEL POSIBLE IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL SOBRE LAS REDES ELÉCTRICAS DE LA REGIÓN MANTA-MONTECRISTI

ANALYSIS OF THE POSSIBLE IMPACT OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION ON THE ELECTRIC POWER LINES OF THE MANTA-MONTECRISTI REGION

Washington Castillo Jurado¹

E-mail: washington.castillo@utm.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7011-1131>

Miguel Castro Fernández²

E-mail: mcastro@electrica.cujae.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3983-469X>

¹ Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

² Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Castillo Jurado, W., & Castro Fernández, M., (2022). Análisis del posible impacto de la contaminación ambiental sobre las redes eléctricas de la región Manta-Montecristi. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(4), 531-539.

RESUMEN

El uso intensivo de la energía eléctrica en la sociedad actual hace imprescindible que esta sea suministrada bajo determinados criterios de confiabilidad y seguridad que las empresas eléctricas deben cumplir, entre los cuales se encuentra la disminución de los fallos debido a la contaminación atmosférica, como consecuencia de la acción de este tipo de contaminación sobre las líneas y subestaciones eléctricas de alta tensión (más de 1000 volts). En el presente trabajo se abordan los impactos negativos que tienen, sobre el sector eléctrico, la contaminación proveniente de fuentes industriales y naturales, en general, particularizando después en el caso de la región Manta-Montecristi, Ecuador, impactos que derivan en molestias para la población y pérdidas económicas en el sector productivo.

Palabras clave: contaminación ambiental, interrupciones, red eléctrica, impacto económico, impacto social

ABSTRACT

The intensive use of electric energy in today's society makes it essential that it be supplied under certain reliability and safety criteria that electric companies must meet, among which is the reduction of failures due to atmospheric pollution, as a consequence of the action of this type of pollution on high-voltage power lines and substations (over 1000 volts). This paper addresses the negative impacts on the electricity sector caused by pollution from industrial and natural sources, in general, and particularly in the case of the Manta-Montecristi region, Ecuador, impacts that result in inconveniences for the population and economic losses in the productive sector.

Keywords: environmental pollution, faults, electric power lines, economic impact, social impact

INTRODUCCIÓN

En la actualidad resulta muy difícil localizar alguna actividad social donde no sea necesaria la utilización de la energía eléctrica. La electricidad es un elemento consustancial al desarrollo científico-técnico de la sociedad, pero, por las características de las fuentes de generación utilizadas durante muchos años con base al uso de combustibles fósiles, constituye una de las actividades con un mayor peso en el deterioro de las condiciones ambientales de la Tierra.

No resulta por ello difícil localizar resultados de estudios relacionados con los impactos ambientales provocados por esta actividad energética; sin embargo, en muchas ocasiones al hablar del impacto negativo que sobre la sociedad tiene la actividad energética, no se analizan, o al menos mencionan, los impactos técnicos negativos que en las redes eléctricas tienen la contaminación derivada de la acción de fuentes naturales de contaminación, como pueden ser el mar y los suelos o de una actividad industrial intensiva, impacto que puede derivar en inestabilidad del servicio eléctrico que se brinda, y por tanto, en molestias para la población y pérdidas económicas en el sector productivo.

El presente trabajo aborda precisamente elementos que fundamentan la necesidad de evaluar el posible impacto que pueda tener la cercanía del mar, así como algunas industrias principales que vierten sus contaminantes a la atmósfera, sobre las instalaciones eléctricas de una de las regiones más productivas de Ecuador, por su desarrollo industrial, como por su condición de puerto exportador, esta es la región de Montecristi y Manta, en la provincia de Manabí, Ecuador.

La red eléctrica, características, elementos que la conforman y que son afectados por la contaminación ambiental.

Las redes de transmisión de energía eléctrica constituyen la parte del sistema de suministro eléctrico integrada por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas (Pascual y colaboradores, 2011). En la Figura 1 se muestra un esquema de las partes que conforman una red o sistema eléctrico de potencia; la misma contempla instalaciones que, como las líneas (conformadas por conductores, herrajes y elementos aislantes) y subestaciones (conformadas por pequeños tramos de conductores, más herrajes y elementos aislantes similares en cuanto a requerimientos a los de las líneas) de transmisión y distribución de energía eléctrica, pueden estar ubicadas a la intemperie y por tanto pueden ser afectadas directamente por la acción de

los contaminantes que se vierten, desde distintas fuentes, a la atmósfera.

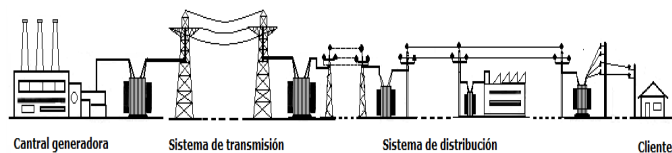


Figura 1. Esquema representativo de una red eléctrica de potencia. Fuente: elaboración propia

Las estructuras que soportan las líneas pueden ser de metal (acero galvanizado, por lo general), madera (con tratamiento para incrementar su resistencia a la acción de los agentes a la intemperie) y/o hormigón; los conductores que se utilizan para el trabajo en líneas a la intemperie pueden ser de acero (galvanizado), aluminio y/o cobre, en casi todos los casos trenzados, para aumentar su resistencia mecánica, en lo fundamental, aunque a nivel de distribución (110-240 volts, lo que se conoce como circuitos secundarios) pueden encontrarse conductores aislados con recubrimiento de goma, por seguridad eléctrica. Por otro lado, los aisladores pueden estar elaborados con materiales como el vidrio, la cerámica y polímero, con sus respectivos herrajes, que al igual que en las estructuras y conectores de línea utilizan acero galvanizado como material.

Si se realiza una búsqueda sobre cómo impacta la contaminación ambiental en los sistemas de energía eléctrica, el lector podrá encontrar miles de trabajos y artículos que avalan los efectos negativos de las centrales generadoras de energía eléctrica sobre el medio ambiente, pero no es fácil obtener información sobre los efectos de los diferentes tipos de contaminantes sobre el propio sistema eléctrico de potencia (SEP). En el primer caso, pueden ser encontrados múltiples de estos estudios; véanse tres ejemplos al respecto:

- Un estudio realizado por la Universidad de Cardiff mostró que altos niveles de contaminación ambiental se asociaron con un mayor consumo de electricidad en los edificios residenciales, y los aumentos ocurrieron principalmente durante el día. Los niveles más altos de contaminación también resultaron en un mayor consumo de electricidad en edificios comerciales en las industrias minorista y recreativa (Cardiff University, 2020).
- Así mismo, datos presentados en la lista de la Agencia de Protección Ambiental de la ciudad de Taichung, en Taiwan, muestran que la central térmica de Taichung es la mayor fuente de contaminación fija en dicha

ciudad, donde del total de 8498 toneladas de PM_{2.5}¹ que recibe la ciudad en un año, la central térmica en cuestión emite 1244 toneladas métricas, lo que equivale al 15% del total mencionado (Tase-Lung Chen, 2017).

- Así mismo, estudios realizados en China mostraron que, en el 2016, las emisiones de SO₂ y PM_{2.5} causaron alrededor de 850,000 muertes prematuras y 10 millones de casos de enfermedades respiratorias y malestar en el pecho, lo que resultó en pérdidas económicas relacionadas con la salud de 1.2 billones de yuanes, lo que representa el 1.6% del PIB (Tingru y Weling, 2019).

Sin embargo, la presencia de aerosoles marinos y de contaminantes de carácter industrial, como son los vertimientos de las plantas químicas, de cemento y las propias centrales eléctricas, pueden provocar impactos que, en su mayor parte, pueden clasificarse como ataques que aceleran los procesos corrosivos sobre los metales o que disminuyen los niveles de aislamiento de las líneas y subestaciones. Ambos son problemas graves para el funcionamiento de las instalaciones energéticas que conforman una red eléctrica, dado que pueden provocar fallos en la misma que afecten, ya sea en el momento que ocurren o posteriormente, malestar, roturas de equipos, pérdidas de producciones, con un impacto económico muchas veces grandes para el operador de la red.

Efectos de la contaminación sobre las redes eléctricas.

El daño provocado a los SEP por la contaminación atmosférica ha sido un problema que ha ocupado, en la medida que se han elevado los niveles de tensión de trabajo, a los ingenieros que trabajan en el sector eléctrico.

Las expectativas de vida útil de conductores, herrajes y en general de soportes de equipo expuestos a la acción del medio ambiente se ven disminuidas debido al ataque corrosivo que soportan durante su explotación. Se aceptan, de forma general, tres mecanismos diferentes de corrosión: físico, químico y electroquímico, difiriendo entre sí por la naturaleza del ataque corrosivo y sobre quién actúa. Por otro lado, se expone que la corrosión de los metales puede presentarse de muchas formas si se considera la apariencia externa o alteración de alguna de las propiedades físicas del material o según el mecanismo de ocurrencia; de acuerdo con estas consideraciones la corrosión puede ser uniforme o localizada.



Figura 1. Corrosión en herrajes de aisladores, conductores y estructuras metálicas utilizados en los SEP. Fuente: Montes, 2016

Hay factores que coadyuvan a la captación y retención del electrolito sobre la superficie metálica, entre los cuales pueden señalarse la rugosidad superficial, el polvo sedimentado y los productos higroscópicos, siendo la rugosidad y el polvo sedimentado factores particularmente influyentes en las primeras etapas del proceso, aunque pierdan significación a medida que progresa la corrosión (Rosenfeld, 1972; Barton, 1982, y Feliz y Morcillo, 1982). Otros estudios han demostrado también la alta influencia de los compuestos de SO₂ y de los cloruros, donde los vientos predominantes, su intensidad y dirección, así como la orientación de la superficie metálica pueden determinar la gravedad del ataque corrosivo en un alto nivel (Bardeen y Sheadel, 1956).

Así mismo, diversos autores han presentado sus conclusiones sobre los efectos que tiene la contaminación ambiental sobre el comportamiento de aislamiento de las líneas eléctricas. En ambos casos, de manera general puede decirse que los principales costos asociados a la contaminación están relacionados con el mantenimiento, las pérdidas por facturación, las pérdidas asociadas a las industrias y las pérdidas asociadas a las corrientes de fuga.

¹ PM_{2.5}.- Material particulado fino. Es un contaminante del aire preocupante para la salud de las personas cuando los niveles en el aire son altos. Las PM_{2.5} son partículas diminutas en el aire que reducen la visibilidad y hacen que el aire parezca brumoso cuando los niveles son elevados. Por ejemplo, en los EE. UU. se considera seguro, según los estándares nacionales de calidad del aire ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU, siempre que una persona respire un promedio de 12 microgramos por metro cúbico de aire (µg / m³) o menos por día durante un año.

Por ejemplo, ya en el año 1979, los costos por sobrediseño del aislamiento y el mantenimiento en el sistema eléctrico mexicano se reportan en el orden de los 2,0 MMUSD anuales (Grijalva y Talamas, 1979).

En Cuba se ha demostrado la alta relación existente entre los estudios de contaminación del aislamiento eléctrico (Castro, *et al.*, 1993) y la regionalización de la agresividad de la atmósfera (Corvo, *et al.*, 1989). En estos estudios se han elaborado mapas donde se observa una alta coincidencia en las zonas de alta agresividad, así como el factor tiempo de humectación como fundamental para ambos procesos. Asimismo, un análisis de la estadística de falla en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) permite asegurar que en Cuba la corrosión atmosférica es una de las causas que más incide en el servicio confiable y estable de la energía eléctrica, dado fundamentalmente por el tiempo de duración de las fallas, lo cual se refleja en afectaciones a otras industrias.

En una investigación realizada para elaborar el Mapa de Contaminación del Aislamiento de la República de Cuba (Castro, *et al.*, 1993) se planteó que, para el período entre los años 1980 y 1989, el SEN cubano sufrió un total de 2354 fallas e interrupciones, de las cuales un total de 1090 (46%) estaban relacionadas con problemas de contaminación del aislamiento eléctrico. Las pérdidas económicas (anuales, en miles de pesos-MP), en el período señalado, asociadas a este fenómeno fueron: costos de mantenimiento: 94,5 MP; pérdidas por servicio no facturado: 43,0 MP; pérdidas por interrupciones: 152,0 MP.

Al estudiar los efectos de la corrosión sobre las instalaciones eléctricas (Castro y Corvo, 1989), para el mismo período 1980-1989, un total de 460 fallas e interrupciones por corrosión fueron caracterizadas del total (19%), lo que hace que el 65% de las fallas e interrupciones del SEN cubano tuvieran como centro los efectos de la contaminación ambiental sobre dichas instalaciones. Sin embargo, es significativo que, para el período 1990-1999, el total de fallas e interrupciones por contaminación disminuyó notablemente al aplicarse un grupo de medidas y resultados obtenidos en los estudios de contaminación sobre el aislamiento eléctrico efectuados por el CIPEL² (Castro, 1998), mientras que en el caso de los efectos por la corrosión fueron de 649 en total, un incremento del 41% con respecto al decenio anterior.

En otra investigación, desarrollada en Venezuela, se determinó que los costos asociados al mantenimiento correctivo y preventivo, en una planta eléctrica, estaban en

2 CIPEL. - Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, CUJAE

el orden de los 366.229.194,58 bolívares, mientras que los costos generados por el control de la corrosión fueron de 527.105.626,76 bolívares, representando el 10% del costo anual por mantenimiento realizado (Aponte y colaboradores, 2008).

La contaminación biológica de aisladores es otra de las problemáticas que han sido reportadas en áreas tropicales de Europa, Asia y Oceanía, y puede reducir la confiabilidad de los SEP. En un estudio realizado en Colombia, sobre la biocontaminación del aislamiento eléctrico, se reportaron reducciones en las tensiones de descarga o flameo de 21% y 10% para aisladores cerámicos y poliméricos, respectivamente, y en todos los casos las corrientes de fuga aumentaron por encima del 20% (Rojas y Rojas, 2017).

Una actualización de los costos por corrosión en Estados Unidos (Syrett y Gorman, 2003) es citado por (Davis et al, 2004), planteando que los costos en la industria eléctrica de los EE.UU alcanzaron los 590,0 millones por año y es la causa de aproximadamente del 50% de las salidas forzadas de las plantas de generación a vapor. Otro estudio realizado en Japón estableció que el costo de la corrosión es de 4,2% del total del costo del sistema de transmisión (Committee on Cost of Corrosion in Japan, 2009).

El problema de la contaminación ambiental sobre las redes eléctricas en la región de Montecristi-Manta en la provincia de Manabí, Ecuador.

La cercanía del mar, a instalaciones eléctricas ubicadas en la región bajo estudio, hace que estas estén bajo una directa influencia del aerosol marino; tal y como se ejemplificó anteriormente, el aerosol marino es un agente que afecta a la red eléctrica que, al dispersarse en forma de neblina a diferentes distancias, es capaz de depositarse sobre conductores, herrajes y aisladores del SEP en forma de pequeñas gotas de agua con un alto nivel de salinidad. En las horas del día el agua se evapora como consecuencia del calentamiento solar y queda la sal incrustada en los elementos de la infraestructura eléctrica, con posibilidad de afectar la propiedad dieléctrica de los aisladores, que en combinación con las lluvias pueden provocar afecciones técnicas en la red y con ello interrupciones y la disminución de la calidad y eficacia del servicio eléctrico a la sociedad.

A este tipo de contaminación natural presente en la región bajo estudio, se suma la contaminación proveniente de la industria torrefactora de café que se encuentra ubicada en la carretera a Manta, en las inmediaciones del cantón Montecristi. En dicha fábrica se realiza el tostado del café, con un régimen de trabajo de 24 horas del día y constituye uno de los principales focos de contaminaciones

gaseosas de la zona; el humo que es expulsado por las chimeneas de la fábrica es dispersado por el viento, ocurriendo que el desprendimiento de sustancias oleosas contaminantes se impregne en la infraestructura eléctrica, especialmente en los aisladores, lo que combinado con el aerosol marino y el polvo proveniente de las canteras de la construcción y de las propias condiciones del terreno vayan creando una capa contaminante sobre los aisladores y demás elementos de la red eléctrica. En la Figura 2 se muestran imágenes de las emisiones gaseosas que se pueden observar diariamente en la industria del café ubicada en las inmediaciones de Montecristi, en la carretera a Manta.



Figura 2. Emisiones de la industria del café. Fuente: elaboración propia. Foto tomada en enero de 2015

Dentro de otras industrias contaminadoras están las fábricas de conservación del atún y otra empresa que industrializa el aceite de Palma Africana; esta situación provoca que los niveles de emisiones aumenten, pero con componentes químicos diferentes, creando mayores problemas de contaminación en la infraestructura eléctrica.

En el periodo de construcción y montaje de la subestación Montecristi II (CNEL³), se tomaron algunas muestras de las deposiciones contaminantes. En la Figura 3 se muestra una imagen de los ventiladores de los transformadores, donde se observan los niveles de contaminación.



Figura 3. Deposición del polvo de las canteras en los ventiladores de los transformadores de potencia, dentro de la subestación. Fuente: elaboración propia. Foto tomada en enero de 2015

En este caso la mayoría de las deposiciones de contaminantes provienen de las canteras que se encuentran

próximas a las subestaciones en estudio, lo que llevó a realizar un mantenimiento preventivo inicial, antes de arrancar la subestación, pues la presencia del contaminante dentro de los ventiladores y en otros equipos de la misma requerían ser retirados por los operarios para ponerlos en funcionamiento, pues podría haber provocado problemas en dicha etapa.

En el caso de los aisladores pudo comprobarse, posteriormente durante una visita de control realizada a la subestación, como a la llegada del invierno, tras los meses de verano donde casi no llovió, los aisladores habían acumulado suficiente contaminación, creándose condiciones para que, con las primeras lluvias y/o incluso con las neblinas de la madrugada y la mañana, se desarrollen los procesos que terminan provocando la falla del aislamiento, con potencialidad de provocar interrupciones en el servicio eléctrico, con sus consecuentes pérdidas económicas, no solo para la empresa eléctrica, sino también para los usuarios. En la figura 4 se pueden observar aisladores deteriorados por causa de la contaminación.

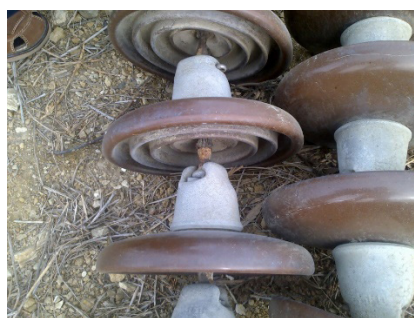


Figura 4. Muestra de los aisladores con sus partes metálicas deterioradas por causa de la contaminación y deposiciones contaminantes sobre la superficie de los aisladores. Fuente: elaboración propia. Foto tomada en octubre de 2015

Las consecuencias de la contaminación propicia que las acciones de mantenimiento de la infraestructura eléctrica sean más reiteradas, implicando exceso de gastos de la empresa eléctrica local de la provincia de Manabí, que pueden llegar a ser de decenas de miles de dólares cada año, siendo las instalaciones más fuertemente afectadas fueron las subestaciones de Manta 1,2, 3 y 4, así como las dos de Montecristi y las líneas aéreas que las unen.

En la Figura 5 se presenta el mapa de relieve de la provincia de Manabí y la ubicación de los elementos más importantes de las infraestructuras eléctricas afectadas en un perímetro de 15 km, que coincide con una zona donde hay densidad de población afectada por los mismos efectos.

3 CNEL.- Corporación Nacional de Electricidad de Ecuador.

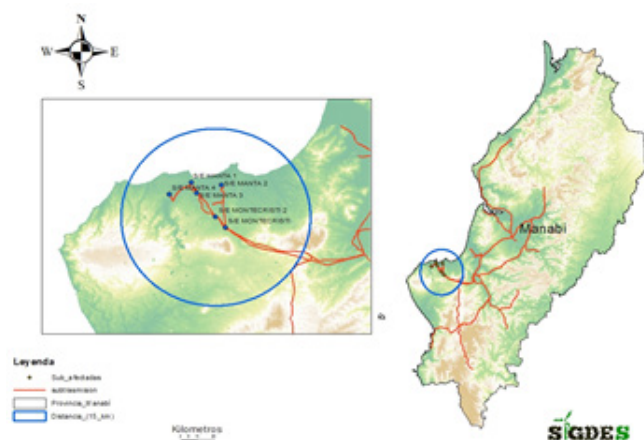


Figura 5. Mapa de relieve de la provincia de Manabí y los elementos más importantes de la infraestructura eléctrica afectados. Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta las condiciones y características anteriores, se decidió realizar un estudio de campo para determinar los niveles de contaminación en la región, pues aun cuando no se ha tenido aun acceso a los datos de CNEL con relación a los impactos económicos de la contaminación sobre las instalaciones mostradas en la Figura 5, es posible evaluar a priori que existen puntos donde quizás haya niveles de aislamiento que no sea capaz de soportar dicha contaminación.

Para ello se seleccionaron 12 puntos para realizar las mediciones de campo (con 25 puntos de muestreo consistente de 3 cadenas aislantes por cada punto como puede verse en la Figura 6), sobre la base de determinar el valor de la Densidad Equivalente de Sal Depositada, método de evaluación conocido como DESD (IEC 60815, 2008) y cuya categorización se muestra en la Tabla 1.

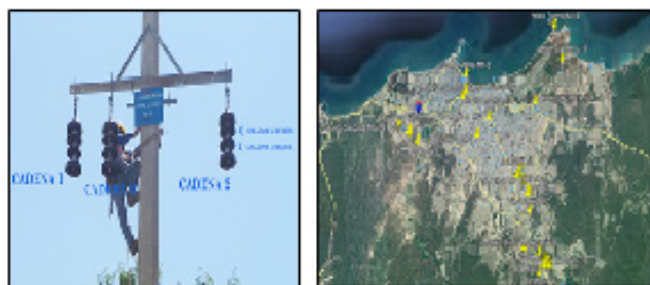


Figura 6. Montaje de las cadenas de aisladores para la medición del DESD y puntos donde se instalaron. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Nivel de contaminación del aislamiento (NCA) basado en el método de la densidad de sal depositada (DESD). Fuente: (IEC 60815, 2008)

Valor del DESD (mg / cm ²)	Nivel de contaminación del aislamiento (NCA)	Distancia de fuga del aislamiento (mm/kVfase-tierra)
< 0,01	Muy ligera	22,0
0,01-0,04	Ligera	27,8
0,04-0,15	Media	34,7
0,15-0,40	Fuerte	43,3
> 0,40	Muy fuerte	53,7

Las muestras se han recogido cada dos meses de forma que permita obtener cómo varía la contaminación a lo largo del experimento de campo, y en qué momento se obtiene el valor máximo. Los resultados obtenidos en el primer año de muestreo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de los valores de contaminación del aislamiento (expresados en mg/cm^2) en el primer año de estudio. Fuente: elaboración propia

No.	Punto de muestreo	Valor DESD (mg/cm^2)	Nivel de contaminación (NCA)
1	La Fabril	0,04	Ligera
2	Carretera a Jaramijó	0,05	Media
3	Montecristi	0,04	Ligera
4	S/E Montecristi	0,08	Media
5	El Café	0,05	Media
6	Termoeléctrica	0,05	Media
7	Puerto del aeropuerto	0,09	Media
8	Playita mía	0,17	Fuerte
9	Centro Manta	0,03	Ligera
10	SE Manta 3	0,02	Ligero
11	SE Manta 4	0,03	Ligera
12	Gavilanes	0,04	Ligera

Como puede observarse de la Tabla 2, los niveles de contaminación varían de alto a ligero, existiendo un punto (Playita mía) con categorización de fuerte contaminación y otros cinco puntos con categoría de contaminación media, mientras el resto se categoriza como contaminación ligera. El punto Playita mía se encuentra ubicado a menos de 30 metros del mar, por lo que es evidente que en ese punto hay una fuerte influencia de los aerosoles marinos, mientras que los puntos donde se obtienen valores medios de contaminación se ubican en zonas con contaminación industrial o, como el caso del punto Puerto del aeropuerto, el cual se encuentra ubicado algo más alejado de la costa, donde la influencia del aerosol marino es menor.

Similarmente, como evidencia gráfica de estas afectaciones, pero vista desde el nivel de corrosión, en la Figura 7 se muestra, a través de fotos tomadas con una cámara termográfica, los puntos de corrosión existentes en las estructuras de soporte y en los equipos.

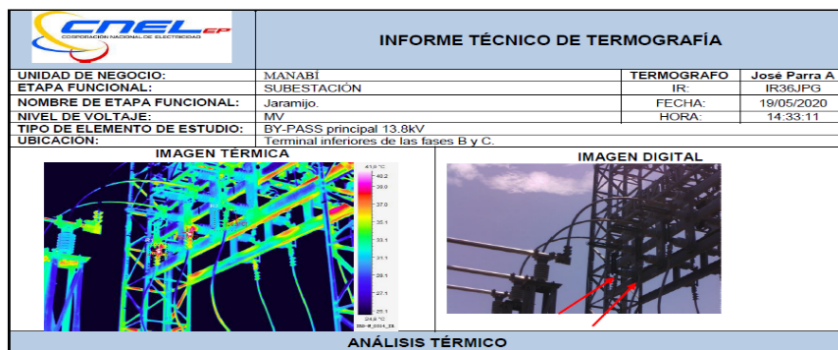


Figura 7. Puntos calientes detectados mediante termografía en la Subestación Jaramijó. Fuente: Informe técnico interno de CNEL

CONCLUSIONES

Se evidencia que los efectos que tiene la contaminación sobre las redes eléctricas no son despreciables y están unidos, en lo fundamental, a la calidad del servicio que se presta por el sector eléctrico a la sociedad, monitoreado este en términos de confiabilidad y seguridad del SEP, así como del servicio que se ofrece a los clientes del mismo.

Por los resultados obtenidos en el primer año de muestreo, se observa que existe un nivel de contaminación atmosférica que puede poner en peligro el trabajo estable del aislamiento eléctrico de las redes en la región bajo estudio.

Los puntos caracterizados como fuerte o medio, según las experiencias tenidas por los autores en otros estudios, puede que al cabo de los dos años de muestreo incrementen sus valores de contaminación del aislamiento en al menos un nivel, dada la característica del carácter monótono que tienen los procesos de contaminación del aislamiento, en su mayor parte, por lo que existe la posibilidad de que si esto se confirma, haya que reforzar el aislamiento que se utiliza en esas localidades, ya que de la inspección visual realizada por los autores, el aislamiento existente es para zonas con NCA ligera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aponte, B. y colaboradores (2008). Costos por corrosión en el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos e instalaciones en la industria. Rev. Técnica de Ingeniería, Universidad de Zulia, V.31, No. Especial, Maracaibo, dic. 2008. Accesible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000400011. Consultado el 14.08.2021.
- Bardeen, A. M. y Sheadel, J. M., (1956). Corrosion of insulator and conductor hardware. AIEE, Vol. PAS. 75, Issue 7, June, 1956. pp. 491-501. Accesible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6442017>
- Barton, K. (1976). Protection against Atmospheric Corrosion. Nueva York: Wiley e hijos Inc., 1976.
- Cardiff University (2020). Air pollution leads to increase in electricity usage: Scientists say unclean air triggers change in behavior that drives people indoors to use more electricity. ScienceDaily. ScienceDaily, September 24, 2020. Accesible en: <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/09/200924114124.htm>. Consultado el 10.08.2021.
- Castro, M. y Corvo, F. (1989). Corrosión en el sector eléctrico, Revista Energética, Vol. XIX, No. 1, 1998, págs. 25 – 28.
- Castro, M. y colaboradores (1993). Mapa de niveles de contaminación del aislamiento de la República de Cuba: Elaboración del mapa (II), Revista Ingeniería Energética, Vol. XIV, No13, 1993.
- Castro, M. Metodología para el uso eficiente del aislamiento eléctrico externo en condiciones de contaminación para la República de Cuba, Revista Tecnológica, Vol. 17, No. 1, 1998, págs. 38 – 46.
- CNEL. Informe técnico de termografía. Subestación Jaramijó, Manabi, Ecuador. Informe interno. Junio 2020.
- Davis, K. et al (2004). On-line Monitoring of Waterwall Corrosion in a 1300 MW Coal-fired Boiler with Low NOx Burners. Paper # 115. Accesible en: https://www.researchgate.net/publication/242265131_On-line_Monitoring_of_Waterwall_Corrosion_in_a_1300_MW_Coal-fired_Boiler_with_Low_NOx_Burners
- Committee on Cost of Corrosion in Japan (2009). Survey of Corrosion Cost in Japan. Accesible en: http://www.nims.go.jp/corrosion/corrosion_cost.pdf. Consultado el 14.08.2021.
- Electric Power Research Institute - EPRI (2001). Cost of Corrosion in the Electric Power Industry. EPRI TR-1004662. Final report. Palo Alto (CA). October 2001. pp. 75-88. Consultado el 18.03.2009
- Feliz, S. y Morcillo M., (1982). Corrosión y protección de los metales en la atmósfera. Barcelona: Ediciones Bellaterra, 1982.
- Grijalva L.P. y Talamas L.R. (1979). The Problem of Pollution on Insulators, Journal of the Air Pollution Control Association, 29:12, 1246-1247, DOI:10.1080/00022470.1979.10470923. Consultado el 14.08.2021.
- International Electrotechnical Commission (2008). Selection and Dimensioning of High-Voltage Insulators Intended for Use in Polluted Conditions—Part 1: Definitions, Information and General Principles; IEC TS 60815-1:2008; 2008; pp. 1–53.
- Montes, M. (2016). Corrosión en el sector eléctrico en la zona costera del Perú. Paper Técnico 04 – 2016. Boletín CITE Energía, Perú. Accesible en: https://issuu.com/citeenergia/docs/paper_corrosion_-_rosa. Consultado el 14.08.2021
- Pascual, Simón C. y colaboradores (2011), Cálculo y diseño de líneas eléctricas de alta tensión. Aplicación al Reglamento de Líneas de Alta Tensión. Ibergaceta Publicaciones. S.L., Madrid. España, 2011. 1a. Edición, 3a. Impresión. ISBN: 978-84-9281-286-8; p. 920.

Rojas, H.E. y Rojas, H.D. (2017). Evaluación del Desempeño de Aisladores Eléctricos de Distribución Cerámicos y Poliméricos bajo Biocontaminación por Hongos. *Revista Información Tecnológica* Vol. 28(2), 3-14 (2017). DOI: 10.4067/S0718-07642017000200002. Accesible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000200002. Consultado el 14.08.2021

Rosenfeld, I. L. *Atmospheric Corrosion of Metals*. Texas: National Association of Corrosion Engineers (NACE), 1972.

Syrett, B. C. and Gorman, J. A. (2003). Cost of Corrosion in the Electric Power Industry – An Update, *Materials Performance*, 42 (2), 32-38, 2003.

Tase-Lung Chen (2017). Air Pollution Caused by Coal-fired Power Plant in Middle Taiwan. *International Journal of Energy and Power Engineering*. Vol. 6, No. 6, 2017, pp. 121-124. doi: 10.11648/j.ijepe.20170606.15. Accesible en: <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=164&doi=10.11648/j.ijepe.20170606.15>. Consultado el 14.08.2021.

Tingru, Y. and Wenling, L. (2019). Health Effects of Energy Intensive Sectors and the Potential Health Co-Benefits of a Low Carbon Industrial Transition in China. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Sep; 16(17): 3022. Published online 2019 Aug 21. doi: [10.3390/ijerph16173022](https://doi.org/10.3390/ijerph16173022). PMID: [31438537](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31438537/). Accesible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6747302/>. Consultado el 14.08.2021.