

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i1.1717>

Estudio de las pérdidas causadas por la inducción electrostática y electromagnética en línea de transmisión

Study of losses caused by electrostatic and electromagnetic induction in transmission line

Genesis Chicaiza

gachicaizalara@istct.edu.ec

Instituto Superior Universitario Central Técnico
Quito – Ecuador

Álvaro Javier Mendoza

jamendoza@istct.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-4132-9062>

Instituto Superior Universitario Central Técnico
Quito – Ecuador

Artículo recibido: 29 de enero de 2024. Aceptado para publicación: 19 de febrero de 2024.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Los sistemas de transmisión desempeñan un papel importante en el suministro eficiente de electricidad desde las subestaciones a los consumidores. Las líneas de transmisión experimentan fenómenos de inducción electrostática y electromagnética que afectan su desempeño. La inducción electromagnética se refiere a la aparición de corriente en un conductor debido a cambios en el flujo magnético, mientras que la inducción electrostática se refiere a la aparición de voltaje debido a cambios en la distribución de cargas eléctricas en el medio. Ambos fenómenos pueden afectar la eficiencia y seguridad de los sistemas eléctricos. A lo largo de los años, los sistemas de propulsión eléctrica han evolucionado utilizando tecnologías y materiales avanzados. Las políticas actuales ponen mayor énfasis en la sostenibilidad y la eficiencia. La selección adecuada de modificaciones, materiales y equipos de mitigación de las líneas de transmisión es fundamental para reducir los riesgos de inducción. El análisis de las pérdidas de energía en el Sistema de Transmisión Nacional (SNT) muestra un cierto porcentaje de estabilidad a lo largo de los años, lo que indica una gestión eficiente de la red eléctrica.


Palabras clave: electrostática, electromagnética, líneas de transmisión, SNI, transpuesta

Abstract

Transmission systems play an important role in efficiently supplying electricity from substations to consumers. Transmission lines experience electrostatic and electromagnetic induction phenomena that affect their performance. Electromagnetic induction refers to the appearance of current in a conductor due to changes in magnetic flux, while electrostatic induction refers to the appearance of voltage due to changes in the distribution of electric charges in the medium. Both phenomena can affect the efficiency and safety of electrical systems. Over the years, electric propulsion systems have evolved using advanced technologies and materials. Current policies place greater emphasis on sustainability and efficiency. Proper selection of transmission line mitigation modifications, materials, and equipment is critical to reducing induction risks. The analysis of energy losses in the National

Transmission System (SNT) shows a certain percentage of stability over the years, which indicates efficient management of the electrical network.

Keywords: electrostatic, electromagnetic, transmission lines, SNI, transposed

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons 

Cómo citar: Chicaiza, G., & Mendoza, A. J. (2024). Estudio de las pérdidas causadas por la inducción electroestática y electromagnética en línea de transmisión. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (1), 1902 – 1916. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i1.1717>

INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión juegan un papel muy importante en el sistema eléctrico, permitiendo la transferencia eficiente de electricidad desde las subestaciones a los consumidores. La inducción electrostática y electromagnética juega un papel clave en el funcionamiento de las líneas de transmisión y, al comprender estos fenómenos, podemos aprovecharlos y comprender mejor estas líneas para transmitir electricidad a un costo mínimo. (Cambisaca, 2016)

Las líneas de transmisión transportan energía desde las centrales eléctricas hasta las subestaciones y desde allí la distribuyen a los usuarios. Incluye cuatro parámetros que afectan su capacidad para realizar su función: resistencia, inductancia, capacitancia y conductividad. La fuga de aislamiento de la línea es tan discreta y variable que esta última prácticamente se ignora.

La inducción electromagnética en líneas de transmisión se refiere al fenómeno por el cual se genera una corriente eléctrica en un conductor debido a cambios en el flujo magnético que atraviesa el área encerrada por dicho conductor. En el contexto de líneas de transmisión de energía eléctrica, esto puede ocurrir cuando hay variaciones en el flujo magnético alrededor de los conductores debido a cambios en la corriente eléctrica que fluye a través de otras líneas cercanas. Estas también pueden dar lugar a corrientes parásitas en los conductores de la línea de transmisión que no están directamente conectados a la fuente de cambio del flujo magnético. (Morante & Quimi, 2020)

La inducción electromagnética en líneas de transmisión es un fenómeno importante a tener en cuenta en el diseño y operación de sistemas eléctricos, ya que puede afectar el rendimiento y la eficiencia de la transmisión de energía eléctrica. Se deben aplicar técnicas adecuadas para minimizar los efectos no deseados asociados con la inducción electromagnética.

A diferencia de la inducción electromagnética que se produce debido a cambios en el flujo magnético, la inducción electrostática en las líneas eléctricas se refiere al fenómeno en el que un campo electrostático induce voltaje. Este fenómeno puede ocurrir en líneas eléctricas cuando hay cambios en la distribución de carga en el entorno circundante.

La inducción electrostática puede generar voltajes no deseados en los conductores de la línea de transmisión, lo que podría afectar la operación y la seguridad del sistema eléctrico. Las líneas de transmisión tienen una cierta capacidad asociada con la distribución de carga entre los conductores y la tierra. Cambios en esta capacitancia, como la presencia de estructuras cercanas o variaciones en la topografía, pueden inducir voltajes en los conductores.

La inducción electrostática generalmente se considera menos significativa en comparación con la inducción electromagnética en el contexto de líneas de transmisión de energía eléctrica. Sin embargo, en situaciones específicas y en regiones con condiciones atmosféricas particulares, la inducción electrostática puede tener impactos que deben tenerse en cuenta para garantizar la confiabilidad y la seguridad del sistema eléctrico. (Navarrete, n.d.)

Recolección de datos

Comparación de los sistemas eléctricos

Los sistemas eléctricos de Transmisión han evolucionado a lo largo de los años, realizaremos una comparación de los materiales de los elementos de los que se componían las líneas de transmisión eléctrica hace 50 años con los que se materiales de los que se componen en la actualidad y así ver cómo estos sistemas han mejorado en la transmisión.

Las políticas y regulaciones energéticas de hace 50 años podrían haber sido menos estructuradas y menos orientadas hacia la sostenibilidad y eficiencia de la transmisión de electricidad.

En la actualidad, se espera una mayor atención a la sostenibilidad, con políticas que fomenten el uso de energías renovables y la eficiencia energética.

Tabla 1

Datos de comparación

Sistemas de transmisión hace 50 años	Sistemas de transmisión actuales
Equipo de generación de 2x3280KVA	500 KVA 230 KVA 138 KVA
Capacidad nominal: 5000KVA a 55°C	Capacidad de 1732,1 tipo ACAR
Regulación sin carga: + 2.5 y 5% de voltaje nominal	Valores mínimos aceptables -7% y -10%
Fallas: Fallas trifásicas a tierra en los sistemas AC. Inestabilidad transitoria. Fallos en los rectificadores. Defectos en la conmutación. sobre voltajes.	Fallas: Altas impedancias. Cortocircuitos entre fases. Fallas asimétricas Cortocircuitos fugaces.

Fuente: Balseca, 2010.

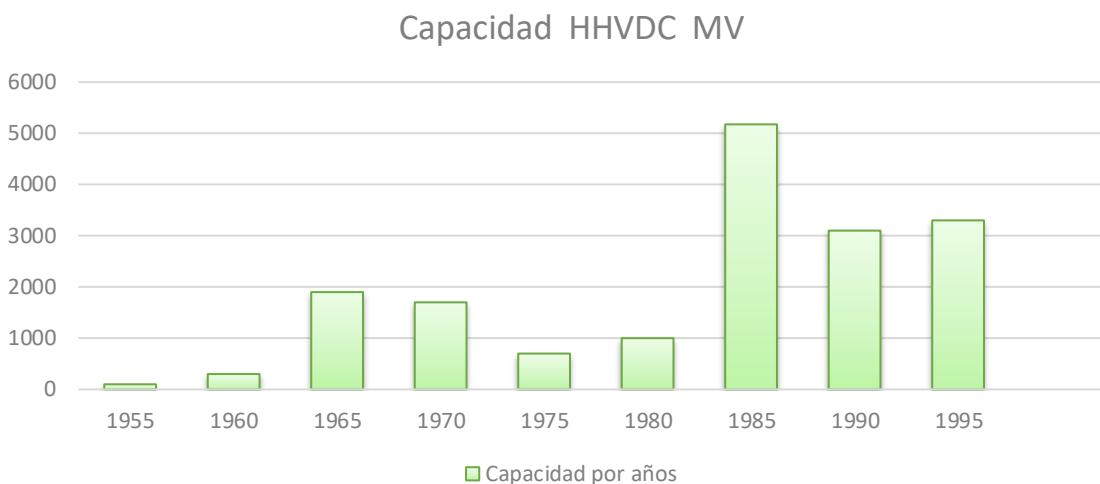
Hace 50 años las redes eléctricas se encontraban en desarrollo y proceso de expansión a largas distancias, aunque las líneas de alta tensión en DC no eran tan comunes se vio que estas líneas contaban con menos pérdidas que las líneas de transmisión comunes.

Con el interés en las líneas de transmisión en DC y sus pérdidas mínimas trataron de realizar un sistema basado en líneas DC pero era más difícil la transportación, por otro lado la corriente alterna tiene la ventaja de ser transportada con facilidad y para aprovechar las ventajas con las que cuentan las líneas AC se debía transformar en DC ser transmitida por una misma línea hasta llegar a otra estación convertidora AC. (GUTIÉRREZ, 2004)

Para la década de los años 60 los sistemas de transmisión HVDC eran muy demandados alrededor del mundo.

Gráfico 1

Evolución de las líneas cc



Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, los sistemas de transmisión de electricidad han experimentado avances significativos en términos de tecnología, eficiencia y sostenibilidad.

Las redes eléctricas actuales se están transformando en "redes inteligentes" que utilizan tecnologías de información y comunicación para monitorear y controlar de manera más eficiente la generación, transmisión y distribución de electricidad. La capacidad de transmisión ha aumentado significativamente con el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales mejorando los sistemas de para evitar las pérdidas que se generan en estas líneas y detectar fallas de manera más rápida para no interrumpir el suministro de energía ni afectar la distribución y comercialización hacia los usuarios. Esto permite la transmisión eficiente de grandes cantidades de energía a través de largas distancias.

Los sistemas de transmisión actuales están diseñados para facilitar la integración de fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, en la red eléctrica.

Se han implementado medidas para mejorar la eficiencia energética en la transmisión, reduciendo las pérdidas de energía durante el transporte.

Se han implementado medidas para mejorar la resiliencia y la confiabilidad de los sistemas de transmisión frente a eventos adversos, como tormentas y desastres naturales.

Se ha establecido el sistema nacional interconectado para facilitar el intercambio de energía entre las provincias del país con las subestaciones de transmisión, aprovechando la diversidad de fuentes y mejorando la estabilidad de la red.

Sistema Nacional de Transmisión

"El Plan de Expansión de la Transmisión (PET) responde a una visión integral del sistema eléctrico ecuatoriano (generación, transmisión y distribución), priorizando la atención al crecimiento de la demanda, cuya prospectiva considera a más del crecimiento tendencial del consumo, la incorporación de cargas especiales, el cambio de las matrices energética y productiva del país, la interconexión del

sector petrolero con el Sistema Nacional de Transmisión (SNT) y los lineamientos establecidos para la integración eléctrica regional.” (Ministerio de Energía, 2020)

El SNT es la red que se encarga de interconectar las centrales a las subestaciones y que finalmente llegue a los consumidores del país, este sistema cuenta con tres líneas principales de diferentes voltajes los cuales son:

500 KV: conforma el sistema troncal de transmisión.

El sistema de transmisión de 500 kV consta de cuatro sistemas que cubren 21 obras, incluida la construcción de 602 kilómetros de líneas de transmisión que funcionan a 500.000 V.

230 KV: conforma el sistema troncal de transmisión.

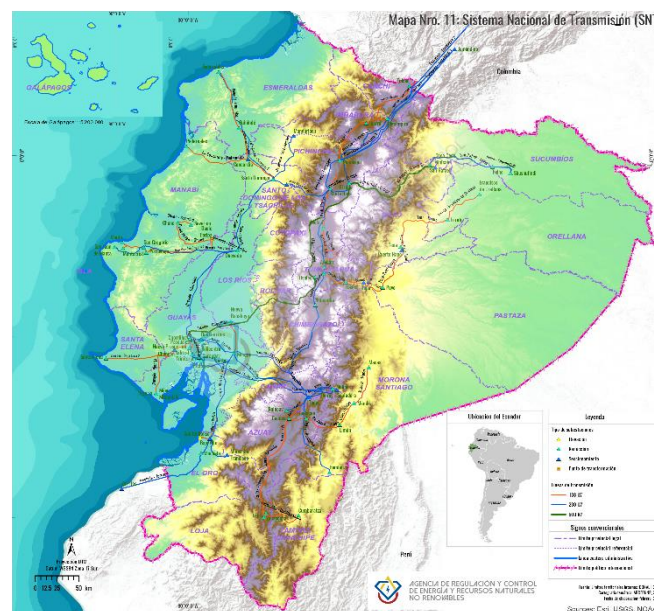
Este sistema es un complemento de la línea de transmisión de 500 KV con 287 Kilómetros de líneas de 230.000.

138 KV: vinculan el sistema troncal de transmisión con las centrales de generación y los centros de distribución.

Tiene una fibra óptica OPGW a lo largo de sus 70 km.

Figura 1

Mapa de Sistema Nacional de Transmisión (SNT)



Fuente: control de recursos y energía del Ecuador.

Inducciones electromagnéticas y electrostáticas en líneas de transmisión paralelas

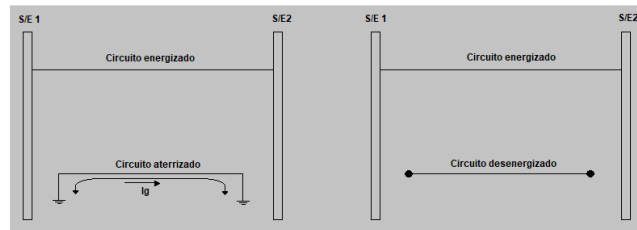
Inducción electromagnética

La inducción electromagnética se genera a partir de la matriz de impedancias (Z_{ABC}) y la corriente que normalmente circula por estos circuitos ocasionando los voltajes y corrientes inducidos.

Estos sistemas por lo general están constituidos por circuitos de conductores energizados o desenergizados.

Figura 2

Esquema de circuitos: energizado, desenergizado y aterrizado



Fuente: elaboración propia.

La corriente que circula a tierra cuando la Línea de transmisión esta aterrizada a tierra puede ser calculada con la siguiente matriz:

$$[V_e \ V_g] = [Z_e \ Z_{eg} \ Z_{ge} \ Z_g] [I_e \ I_g] \quad (1)$$

Teniendo en cuenta:

$$[V_g] = [0] \quad (2)$$

Reemplazamos:

$$[V_e] = [Z_e][I_e] + [Z_{eg}][I_g] \quad (3)$$

$$[0] = [Z_{ge}][I_e] + [Z_g][I_g] \quad (4)$$

Por lo tanto, obtendremos:

$$[I_g] = -[Z_g]^{-1}[Z_{ge}][I_e] \quad (5)$$

I_g = Corriente a tierra cuando el circuito de la línea a tierra está aterrizado

Z_g = Matriz de impedancias propia del circuito

Z_{ge} = Matriz de impedancias mutuas entre los circuitos aterrizado y energizado

I_e = Corriente que circula por el circuito energizado

Para calcular el voltaje por unidad de longitud inducida en la línea de transmisión con el circuito abierto:

$$[V_e \ V_d] = [Z_e \ Z_{ed} \ Z_{de} \ Z_d] [I_e \ I_d] \quad (6)$$

Teniendo en cuenta:

$$[I_d] = [0] \quad (7)$$

Reemplazamos:

$$[V_e] = [Z_e][I_e] \quad (8)$$

$$[V_d] = [Z_{de}][I_e] \quad (9)$$

V_e = Voltaje del circuito energizado

Z_e = Matriz de impedancias propia del circuito energizado

V_d = Voltaje inducido en el circuito desenergizado

Z_{de} = Matriz de impedancias mutuas entre los circuitos desenergizados y el energizado

Reemplazando en las ecuaciones mencionadas anteriormente obtendremos:

$$[E_d] = [Z_e]^{-1}[Z_{de}][V_e] \quad (10)$$

Debemos tener en cuenta que E_d representa el voltaje inducido.

Ahora el voltaje inducido electromagnético podemos calcularlo con la última fórmula obtenida.

Inducción electrostática

Por otro lado, los voltajes y corrientes inducidas por la electrostática se producen por la matriz de coeficientes de potencial de Maxwell (P_{ABC}) y el voltaje que se encuentra en la línea de transmisión cuando el circuito se encuentra energizado (V_e) se encuentra expresada por la siguiente ecuación:

$$[I] = [Y][V] \quad (11)$$

$$[Y] = j\omega[C] \quad (12)$$

$$[P] = [C]^{-1} \quad (13)$$

Reemplazamos en la ecuación y la matriz:

$$[V] = \frac{1}{j\omega} [P][I] \quad (14)$$

$$[V_e \ V_d] = \frac{1}{j\omega} [P_e \ P_{ed} \ P_{de} \ P_d][I_e \ I_d] \quad (15)$$

Teniendo en cuenta:

$$[I_d] = [0] \quad (16)$$

Entonces obtendremos las siguientes ecuaciones:

$$[V_e] = \frac{1}{j\omega} [P_e][I_e] \quad (17)$$

$$[V_d] = \frac{1}{j\omega} [P_{de}][I_e] \quad (18)$$

Y reemplazando en las ecuaciones anteriores:

$$[V_d] = [P_e]^{-1}[P_{de}][V_e] \quad (19)$$

P_e = Matriz de coeficientes de potencial de Maxwell propia del circuito

P_{de} = Matriz de coeficientes del potencial de Maxwell mutua entre los circuitos desenergizado y energizado

Las siguientes ecuaciones son para calcular la corriente inducida cuando la línea de transmisión se encuentra aterrizada a tierra con el circuito energizado:

$$[Q_e] = [P_e]^{-1}[V_e] \quad (20)$$

$$[I_g] = j2\pi fL[Q_e] \quad (21)$$

L = Longitud total de la línea de transmisión

F = Frecuencia del voltaje en Hz

Q_e = Carga eléctrica en el circuito energizado

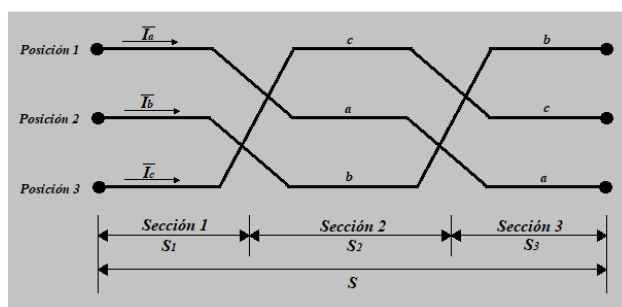
Estas inducciones por lo general se presentan con mayor frecuencia en los circuitos con líneas de transmisión en paralelo ya que estos circuitos no son independientes. (Quisilema, 2013)

Debemos tener en cuenta que tenemos líneas de transmisión transpuestas y no transpuestas

Línea de transmisión transpuesta: Este tipo de configuración es usada para los conductores que se colocan de forma paralela y a la misma altura, los conductores de estas líneas tienen que recorrer grandes distancias por lo tanto tienen reactancias distribuidas por todo el conductor y para anular estos efectos se aplica la transposición lo que significa que dependiendo la longitud del conductor cada ciertos metros de distancia los conductores intercambiarán sus posición hasta llegar a su destino, dispuestos de esta manera para minimizar la interferencia electromagnética entre los conductores.

Figura 3

Esquema de la composición de las líneas de transmisión con transposición



Fuente: elaboración propia.

El diseño transpuesto tiene como objetivo reducir la interferencia mutua entre los conductores, lo que puede ocurrir debido a la capacitancia y la inductancia entre ellos. Cuando los conductores están dispuestos transpuestos, la distribución de los campos eléctricos y magnéticos alrededor de cada conductor es más equitativa, disminuyendo así los efectos de la interferencia electromagnética.

Línea de transmisión no transpuestas: estas líneas de transmisión se encuentran colocadas de manera no paralela por lo que los conductores pueden ser colocados a diferentes distancias uno del otro y diferentes alturas.

Cuando los conductores no están transpuestos, se puede experimentar una mayor interferencia electromagnética entre ellos debido a las variaciones en los campos eléctricos y magnéticos. Esta interferencia puede tener efectos negativos, como mayores pérdidas de energía y un rendimiento subóptimo del sistema de transmisión.

Tabla 2

Comparación de inducción electro magnética y electrostática entre líneas transpuestas y no transpuestas

Línea transpuesta Paute - Pascuales a 230Kv	Línea no transpuestas San Alfonso – Machala 138kV
La línea tiene una longitud total de 188,22 km por lo tanto se divide en dos zonas	El acoplamiento de los circuitos está presente en toda la longitud.
La corriente inducida se puede apreciar más que el voltaje	Los valores de inducción de voltaje y corriente son los mismos ya que el voltaje depende de la corriente en el circuito.

Riesgos de la electrostática y electromagnética en las líneas de transmisión

La inducción electroestática y electromagnética en las líneas de transmisión de energía eléctrica tiene varios riesgos como:

Las descargas eléctricas son la acumulación de la carga electrostática puede dar lugar a descargas eléctricas, que pueden representar un peligro para los trabajadores de esa área como también para los equipos cercanos. Estas descargas electrostáticas pueden afectar a los equipos eléctricos conectados a la línea de transmisión como: transformadores, interruptores y otros componentes eléctricos, con el daño causado por estas descargas se pueden derivar en interrupciones del suministro de energía eléctrica en dicha línea.

La interferencia en sistemas de comunicación: es la acumulación de carga electrostática, esta acumulación puede causar interferencias en los sistemas de comunicación que se encuentren cercanos a estas líneas, como: radios, sistemas de transmisión de datos y equipos de telecomunicaciones. Estas interferencias pueden afectar la calidad de las señales y el funcionamiento de los dispositivos.

Calentamiento de equipos: La inducción electromagnética puede generar corrientes de Foucault en equipos y estructuras cercanas, lo que puede dar lugar a calentamientos no deseados. Esto puede afectar a la integridad de los materiales y, en casos extremos, provocar el deterioro de los equipos.

Minimización de las pérdidas por estos efectos

Las cargas electroestáticas se generan a partir de factores externos como la fricción de los conductores con el viento a la intemperie, en ese momento es cuando las cargas se acumulan así afectando a la transmisión de energía eléctrica. Con las descargas electroestáticas presentes en las líneas de transmisión se pueden producir transitorios electromagnéticos y para evitar daños en las líneas de transmisión se pueden implementar medidas de mitigación para estos fenómenos en líneas de transmisión. Las pérdidas dieléctricas se pueden reducir incluyendo diseños de protecciones seleccionando materiales aislantes adecuados para aisladores robustos, la selección adecuada de materiales, y la implementación de dispositivos específicos para reducir las descargas y pérdidas bajas.

Las pérdidas electromagnéticas en una línea de transmisión se refieren a la energía distribuida en forma de campo magnético durante la transmisión de corriente eléctrica a lo largo del conductor. Estos costos representan una parte importante del costo total de la red de transmisión y dependen de algunos factores como:

Resistencia de conductores: ningún conductor trabaja en condiciones perfectas ya que siempre presentará resistencia al paso de la corriente y esta resistencia puede depender de 4 factores:

- El material del conductor.
- La longitud del conductor.
- La temperatura a la que trabaja.
- La sección transversal del conductor.

Apantallamiento magnético: Las ondas que se propagan lateralmente en un medio conductor tienen una amplitud que disminuye con la distancia. Es decir, las ondas electromagnéticas que ingresan al conductor tienen una amplitud inicial reducida.

El campo eléctrico es directamente proporcional a la tensión, mientras que el campo magnético que es creado por las cargas eléctricas en movimiento es proporcional a la corriente y en tanto la longitud del conductor sea más larga estos campos decrecerán.

Para mitigar estos riesgos, se aplican técnicas y dispositivos de mitigación de inducción, como el uso de pantallas conductoras, sistemas de puesta a tierra adecuados, la instalación de aisladores y recubrimientos protectores en estructuras susceptibles a corrientes inducidas. Además, los diseñadores y operadores de líneas de transmisión suelen seguir estándares y directrices para minimizar los efectos adversos de la inducción electromagnética en el sistema eléctrico.

RESULTADOS

Tabla 3

Pérdidas de energía periodo 1990-1998

AÑO	PÉRDIDAS (MWh)	PÉRDIDAS (%)
1990	1.227.516,3	20,4
1991	1.342.684,9	20,3
1992	1.394.916,5	19,8
1993	1.480.458,7	21,1
1994	1.612.168,8	21,1
1995	1.542.349,6	19,4
1996	1.714.708,1	19,5
1997	1.980.549,6	20,2
1998	2.094.942,6	20,4

Fuente: (CONELEC, 1999).

En la tabla 3 podemos apreciar las pérdidas anuales a lo largo de la década de los 90's representadas en MWh y su equivalente porcentual.

En el año de 1990 las pérdidas eran de 1.227.516,3 Wh equivalente al 20,4% pasando a 2.094.942,6 Wh equivalente al 20,4%.

Las pérdidas representadas porcentualmente es la diferencia que existe entre la energía disponible y el consumo. Independientemente de los niveles de las pérdidas en MWh a través de los años podemos apreciar que los porcentajes se mantuvieron, no tuvieron grandes pérdidas ni fuera del rango.

Tabla 4

Pérdidas de energía en el SNT periodo 2013-2022

AÑO	PÉRDIDAS (GWh)	PÉRDIDAS (%)
2013	544,87	3,01
2014	550,97	2,86
2015	616,84	3,06
2016	687,75	2,98
2017	737,42	3,11
2018	798,32	3,22
2019	896,57	3,26
2020	895,79	3,32
2021	956,46	3,43
2022	883,76	3,08

Fuente: (ARCERNNR, 2021).

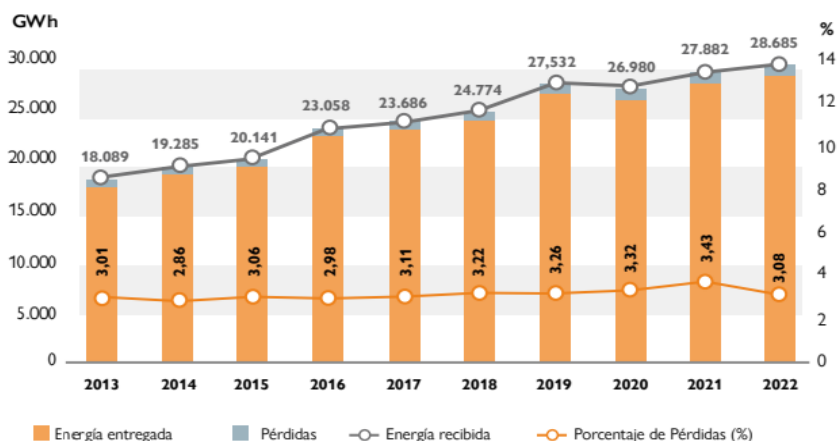
En la tabla 4 se encuentran representadas las pérdidas de cada año en GWh y porcentaje.

Podemos ver cómo estas pérdidas anuales pasaron de 544,87 Wh lo que equivale al 3,01% de pérdidas en el año 2013 a 883,76 Wh que equivale al 3,08% en el año 2022.

De igual manera que en los datos de la tabla 3 dejando de lado los niveles de energía los datos porcentuales se han mantenido durante 10 años sin tener cambios drásticos.

Gráfico 2

Pérdidas de energías en el SNT 2013-2022



Fuente: (ARCERNNR, 2021).

CONCLUSIÓN

Con toda la información antes mencionada podemos concluir que a través de los años el sistema eléctrico de transmisión ha mejorado ya que en la década de los 90's aunque los niveles de generación eran más bajos que los actuales las pérdidas eran mucha mayores a las que podemos apreciar hoy en día, lo que podemos tomar como una evolución de estos sistemas gracias a las nuevas tecnologías e innovaciones para una experiencia satisfactoria para los usuarios finales siendo estos usuarios residenciales, comerciales e industriales.

El nivel de inducción depende de la ubicación de los conductores en las torres, es decir, de la distancia y altura entre ellos, y si estas son o no transpuestas. Por tanto, se observa que cuanto más cerca esté el conductor del circuito sin alimentación al circuito sin alimentación, mayor será el voltaje y en algunas la corriente será despreciable.

Cuando un circuito en líneas de transmisión paralela sin transposición se encuentra desenergizado, se induce un voltaje en el mismo. Este voltaje necesita de la inducción electrostática que es causada por el nivel de voltaje que se encuentra en el circuito energizado. En este caso el efecto electromagnético también presenta una inducción de voltaje, pero en comparación al voltaje resultante por el efecto electrostático este es insignificante.

RECOMENDACIONES

Mantener en constante monitoreo el sistema de líneas de transmisión para evitar fallas de gran magnitud que causen el suspenso del suministro eléctrico y optimizar la eficiencia del sistema. Utilizar sistemas de control avanzado para optimizar la transmisión en tiempo real, ajustando parámetros según las condiciones específicas y los requisitos de rendimiento.

Es más recomendable el uso de los circuitos de líneas transpuestos porque las interconexiones ayudan a reducir los niveles de voltaje y corriente inducidos en el circuito desconectado. Esta infraestructura puede ser más costosa por la forma de colocación de los conductores, Por tanto, es necesario realizar análisis tecno-económicos para tener en cuenta la más factible.

Diseñar sistemas de redundancia es de mucha importancia ya que con este sistema podemos garantizar la continuidad del suministro eléctrico en caso de un corte de energía o fallas inesperadas en las líneas de transmisión. Estos pueden incluir rutas alternativas para las líneas de transmisión, sistemas de respaldo o transferencias a líneas paralelas.

REFERENCIAS

Arcernnr. (2021). Estadística Anual Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Estadística Anual Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 178.

Balseca, R. S. (2010). El Sector Eléctrico Ecuatoriano Como Fuente De Bienestar Social.

Cambisaca, W. S. O. (2016). Inducción Electroestática Y Electromagnética En Línea De Transmisión Doble Circuito A 238kv, Efecto En La Operación De Seccionadorea De Puesta A Tierra.

Conelec. (1999). Estadística Del Sector Eléctrico Ecuatoriano, Estadísticas Anuales Del Año 1990 Al Año 1998.


Gutierrez, E. S. T. (2004). Transmision De Potencia En Corriente Directa - Hvdc Analisis Y Simulación.

Ministerio De Energía. (2020). Plan Maestro De Electricidad Plan De Expansion De La Transmision. 39.

Morante, B. M. B., & Quimi, B. E. P. (2020). Escuela Superior Politécnica Del Litoral.

Navarrete, L. O. (N.D.). Efectos Electroestáticos Y Electromagnéticos De Las Líneas De Transmisión De Corriente Alterna.

Quisilema, E. (2013). Efecto De La Inducción Electromagnética De Circuitos Paralelos En La Operación De Las Protecciones Eléctricas. Aplicación A La Barra De 138 Kv De La S/E Machala. <https://Bibdigital.Epn.Edu.Ec/Bitstream/15000/7095/1/Cd-5274.Pdf>

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) .