

# PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN

## TECHNICAL ENERGY LOSSES IN AN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK

Obed Renato Jiménez Meza<sup>1</sup>  
Paz Vicente Cantú Gutiérrez<sup>2</sup>  
Jorge Luis Arizpe Islas<sup>3</sup>

### RESUMEN

Mantener un sistema eléctrico de potencia con las mínimas pérdidas es un mayor reto por parte de las empresas distribuidoras de energía estas deben de ser monitoreadas constantemente además de contar una buena planificación y control sobre la misma, por ello es evidente que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha estado trabajado en la reducción de las pérdidas de energía. Algunos de los orígenes de las pérdidas técnicas son: líneas sobrecargadas, redes mal configuradas, transformadores de distribución con bajo factor de utilización, entre otros, mientras que las pérdidas no técnicas pueden tener su origen en usos ilícitos, por hurto, entre otros, que en conjunto producen una gran pérdida anual. El principal objetivo de esta investigación es el análisis y determinación de estas pérdidas, para realizar propuestas de reducción de estas y de esta forma aumentar la rentabilidad de la empresa.

**Palabras clave:** Pérdidas técnicas, Pérdidas No técnicas, Reconfiguración, Desconexiones, Carga eléctrica, Redes aéreas, Guía primaria.

**Fecha de recepción:** 23 de septiembre, 2020.

**Fecha de aceptación:** 12 de abril, 2021.

<sup>1</sup> Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. [obed.jimenezmz@uanl.edu.mx](mailto:obed.jimenezmz@uanl.edu.mx)

<sup>2</sup> Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. [vcantugt@yaho.com](mailto:vcantugt@yaho.com)

<sup>3</sup> Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. [jarizpei@yahoo.com.mx](mailto:jarizpei@yahoo.com.mx)

## ABSTRACT.

Maintaining an electrical power system with minimal losses is a major challenge for energy distribution companies since they must be constantly monitored and above all have good planning and control over it, so it is evident that la Comisión Federal de Electricidad (CFE) has been working to reduce energy losses, these can be caused by various reasons: illegal uses, overloaded lines, poorly configured networks, distribution transformers with low utilization factor, among others, which together they produce a large annual loss. One of the main objectives of this research will be focused on the estimation of these technical losses, as well as their mathematical and theoretical analysis, to finally make proposals to reduce their losses and increase the profitability of the company.

**Keywords:** Technical losses, Electrical imbalance, Reconfiguration, Disconnections, Electrical flow, Electrical load, Overhead networks, Primary guide.

## INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de energía se cuantifican con base en dos componentes: las pérdidas técnico y pérdidas no técnicas y gran parte de las llamadas “pérdidas técnicas” en que se encuentran en los sistemas de distribución corresponden a los transformadores eléctricos típicos, por lo que la CFE Distribución es la encargada de operar y dar mantenimiento a sus redes generales de distribución con niveles de nivel de tensión eléctrica de 13.8, 23 ,34.5 kV donde uno de los mayores retos para la empresa de CFE distribución es evitar las pérdidas técnicas y no técnicas en sus sistemas de distribución.

Para solucionar este problema de las pérdidas técnicas por desbalance, se propone una metodología para disminuirlas, señalando las causas que provoca dicho acontecimiento, además brindar información del impacto económico que empresa a futuro, así mismo se presentan a detalle las ecuaciones que describen el comportamiento de las pérdidas y su impacto reflejado en el ahorro de los kW por año.

Como se mencionó anteriormente el origen las pérdidas técnicas de energía suelen ser por una o más de las siguientes causas:

- calentamiento de líneas,
- desbalance de la red eléctrica,
- maniobras inadecuadas,
- transporte de energía,
- mala instalación de la subestación,
- entre otros.

Por otra parte, que las pérdidas no técnicas pueden tener su origen en usos ilícitos,

- Hurto: cualquier conexión ilegal a la red.
- Fraude: manipulación del equipo de medición.
- Consumo no registrado: carga para la cual no existe equipo de medición.
- Problemas de gestión: error de lectura, error por falta de lectura, error por medidor dañado.
- entre otros.

Debido a que las pérdidas técnicas son de mayor relevancia, en este trabajo se analizaran estas mencionando las no técnicas solo como referencia.

## JUSTIFICACIÓN

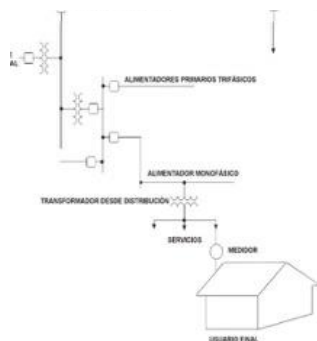
Una de las principales motivaciones de esta investigación es ayudar al sector energético a optimizar sus procesos de operación reduciendo costos, elevando a su vez la rentabilidad de la empresa al identificar y reducir las pérdidas técnicas.

Así mismo, se busca reducir se forma indirecta la contaminación al medio ambiente por generación de gases de efecto invernadero ya que se ocupará menos generación de energía debido a que esta llegará a su punto final planeado sin “perderse” por diversos factores.

## METODOLOGÍA

### Red de distribución

Es el medio de transporte de la energía eléctrica, hace posible llevar a cabo el proceso de distribución energía a un nivel de media tensión y en baja tensión gracias a diferentes procesos en la red eléctrica como la trasmisión y generación. Generalmente los sistemas eléctricos de media tensión “salen” de subestaciones con los niveles adecuados de tensión para así repartir la energía a toda una población, donde más adelante llegan a un medio de transformación para convertirla en energía de baja tensión y poder dar servicio a consumidores industriales, comerciales y residenciales, ver Figura 1.



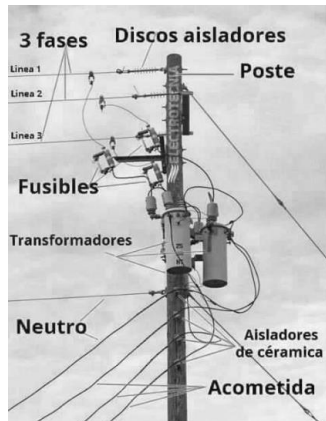
**Figura 1. Composición de la red eléctrica**

Los principales elementos de la red de distribución son, ver Figura 2 y 3:

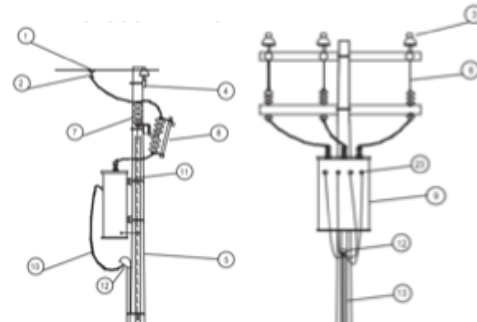
- Fases: Es el conductor que transporta energía con cierto potencial clasificados por lo regular en alta tensión, media tensión y baja tensión.
- Discos aisladores: Estos existen para aislar los conductores de la estructura y del poste, y existen en distintas proporciones dependiendo del nivel de tensión eléctrica que se requiera aislar.
- Guías primarias: Por lo regular las líneas de media tensión bajan por un conductor primario (guías primarias) que pasan primero por protecciones, tales como aparta rayos, cuchilla – fusible y de ahí bajan a una transformación a nivel residencial.
- Apartarrayos: Es el encargado de drenar la energía ofreciendo la menor impedancia en el conductor para proteger por lo regular un elemento de transformación y lo que se encuentra alrededor de él.
- Fusibles: Es un elemento de protección y se dispara en condiciones de falla o de corto circuito.
- Transformadores: Estos aumentan o reducen el nivel de tensión dependiendo lo que se requiera para satisfacer las necesidades del usuario final.

## PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN

- Retenida: Sirve para mantener en buena posición el poste y no represente algún peligro a la sociedad, estas se instalan de forma contraria a la tensión mecánica de las líneas de M.T.



**Figura 2 Principales elementos de Distribución**



**Figura 3 Guías primarias**

### Pérdidas de Energía Eléctrica

Las pérdidas eléctricas se sufren en cada proceso del sistema eléctrico nacional, ya sea por desperfectos en la generación, por desbalance en las líneas de transmisión por un factor externo o interno de la red, por la mala distribución de la energía hacia los usuarios finales; estas pérdidas pueden ser del orden de millones de pesos y miles de kW que no genera ningún tipo de trabajo eficiente.

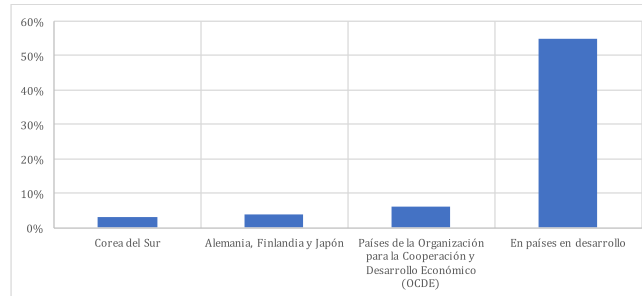
Por lo regular las empresas distribuidoras de energía hacen una comparación entre la energía recibida en la zona por parte de transmisión en la subestación y la energía que se vendió en el mes la que se hace llamar la facturada o consumida por las diversas empresas que se le suministra el servicio, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Pérdidas = E. recibida - E. facturada$$

Considerando un escenario perfecto las diferencias de esas energías deben ser cero, lo que se recibe se consume y se factura, pero en la vida real no es así y siempre existen pérdidas, si se hace la diferencia entre estas dos es lo que no se facturo y se perdió.

“El nivel de pérdidas de las empresas eléctricas de distribución y comercialización de energía es un indicativo de la eficiencia técnica, comercial y administrativa con la que brinda un servicio de calidad y costo a los consumidores, ver Figura 4.

## PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN



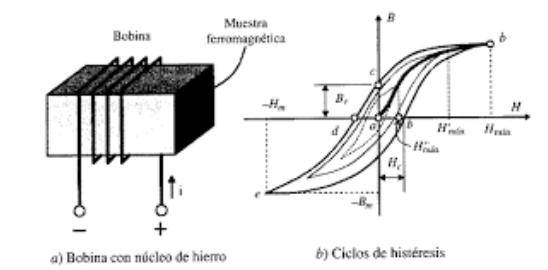
**Figura 4. Índice pérdidas de energía en la distribución con respecto a la producción en el 2014.**

### Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas en general son aquellas donde el humano no interacciona de manera intencional para ocasionar una pérdida en el sistema eléctrico, es decir, se presentan por fenómenos físicos que ocurren en los circuitos de transmisión como en los de distribución. Cabe mencionar que estas pérdidas son inevitables por lo que se deberán de reducir al máximo, así como tratar de identificar y ubicarlas oportunamente.

Se puede realizar una clasificación de las pérdidas técnicas según la función del componente y según la causa que las originan.

- Pérdidas fijas: Se presentan en el sistema por solo el hecho de energizar el circuito o el transformador en el cual se producen. Este tipo de pérdidas se producirán en el sistema, aunque la carga conectada a ellos fuera igual a cero, y son las Pérdidas por histéresis y corrientes parásitas, ver Figura 5.



**Figura 5 Pérdidas por histéresis**

Existe una potencia que sirve exclusivamente para magnetizar el núcleo, esta potencia no tiene otra aplicación práctica, por lo que se la puede considerar como potencia pérdida en la imantación del núcleo del transformador y es llamada pérdida por histéresis. Por otro lado, los equipos eléctricos están formados por conductores que se mueven en un campo magnético o están situados en un campo magnético variable, dando lugar a corrientes inducidas que circulan por el volumen del conductor, estas corrientes se denominan de Foucault, estas corrientes también generan pérdidas.

## PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN

Por otra parte, los medidores son los equipos utilizados para la determinar la cantidad de la energía requerida por los usuarios del sistema, los equipos de medición consumen una pequeña cantidad de energía para su funcionamiento, la cual es mínima, sin embargo, al contar con más de 410.000 unidades instaladas, la cifra se vuelve relevante y significativa, representando de 2 a 3 % del total de pérdidas técnicas [6].

- Pérdidas Variables: Son aquellas que dependen de la demanda y son llamadas Pérdidas por efecto *Joule*.

Cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor isotérmico, hay una generación de calor. Este efecto ocurre debido a la transferencia de energía eléctrica a través del conductor por un proceso análogo al rozamiento. Este efecto se denomina “efecto *Joule*”. Esto produce calentamiento de cables y en los embobinados de los transformadores de distribución.

La ley de Joule enuncia que:

“El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un conductor es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y el tiempo que dura la corriente”, ver Figura 6.

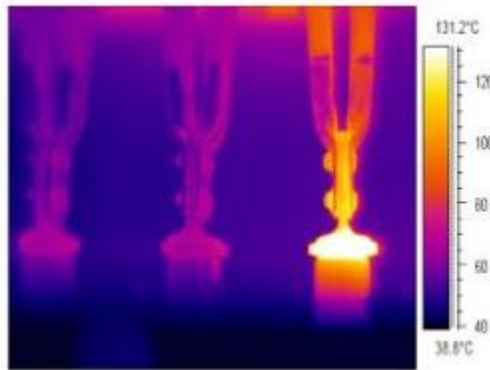
$$Q = (I^2 R)t$$

donde:

$Q$  se expresa en Joules

$(I^2 R)$  se expresa en Watts

$t$  se expresa en s



**Figura 6 Pérdidas por efecto Joule**

### Impacto de las Pérdidas Eléctricas en los Sistemas de Distribución

- Sostenibilidad Financiera de la Empresa Distribuidora.

Las pérdidas de energía representan una disminución de ingresos para las empresas distribuidoras; para recuperar los costos relacionados al suministro de electricidad, el monto de las pérdidas deberá ser cubierto, ya sea por el usuario o por el Gobierno a través de un subsidio específico.

## PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN

- Asignación de los Costos por Pérdida de Electricidad.

Las empresas generadoras de energía eléctrica no registran pérdidas, ya que éstas se producen al momento de la transmisión y la distribución, es por eso por lo que cobran en su totalidad los valores de dicha energía generada. En tal virtud es necesario idear un mecanismo estatal para asumir las pérdidas, lo que haría que tanto en la fase de transmisión como en la de distribución, los involucrados asuman los respectivos costos, esto motivará a que se esfuercen cada vez más en mejorar y así evitar sobre costos innecesarios.

- Impacto en la Demanda de Electricidad

Una mejora en la eficiencia del sistema por reducir las pérdidas, esto implicaría que se podría cubrir momentáneamente el incremento en la demanda, sin necesidad de aumentar la capacidad instalada.

- Acceso a la Energía por Pérdidas

A pesar de disponer del servicio de electricidad, ciertos clientes en zonas abandonadas y alejadas de la red cuentan con un servicio de electricidad poco fiable; donde la inestabilidad, el deterioro y el robo crean pérdidas sustanciales. Debido a esto las distribuidoras no son capaces de cubrir sus costos y el resultado es un constante problema para mantener la solvencia, por lo que no pueden brindar un servicio de calidad a los usuarios existentes, o mucho menos proveer de energía eléctrica a más usuarios.

### Acciones para la Reducción de Pérdidas Técnicas

Es posible realizar algunas acciones para reducir al mínimo las pérdidas en la red de distribución de tal forma que garantice que la energía permanezca dentro de los límites de pérdidas que determine la empresa, las como:

- Limitar al mínimo las conexiones entre servicios ya que se pueden provocar calentamiento entre conectores, y mucho menos no hacer conexiones entre cables de cobre con aluminio porque se llegan a sulfatar con el tiempo, pudiendo provocar la interrupción temporal del servicio ya sea en baja tensión como en media tensión.
- Contar con un sistema de monitoreo de la red de distribución de manera general como los aisladores, fusibles de desconexión, transformadores, interruptores, entre otros, para prevenir cualquier falla a futuro y darle su mantenimiento predictivo correctivo.
- Al momento de hacer la planeación de un nuevo circuito que se instalara en una colonia es de mayor importancia seleccionar el tamaño adecuado del conductor, así mismo del transformador para aumentar la eficiencia y evitar al mínimo las pérdidas eléctricas, se recomienda ubicar bien los transformadores para hacer la repartición adecuada de carga.
- Disminuir el número de transiciones y alimentar directamente desde los alimentadores que provienen desde las subestaciones para satisfacer la demanda de los grandes consumidores.
- Por las condiciones ambientales a las que están expuestos los elementos de la red de distribución como aisladores, transformadores, cuchillas entre otros, hay unos que se deterioran más rápido que otros, debido a la corrosión a los que están expuestos, por ello se deben reemplazar los elementos que se vean deteriorados.
- Gestionar la carga adecuada y equilibrio de carga para evitar al máximo las pérdidas técnicas.
- Reemplazar los medidores electromecánicos por medidores electrónicos o digitales ya que están a prueba antifraude.
- Mejora del factor de potencia al agregar condensadores de derivación en la red de distribución y utilizando un banco de capacitores en las subestaciones.

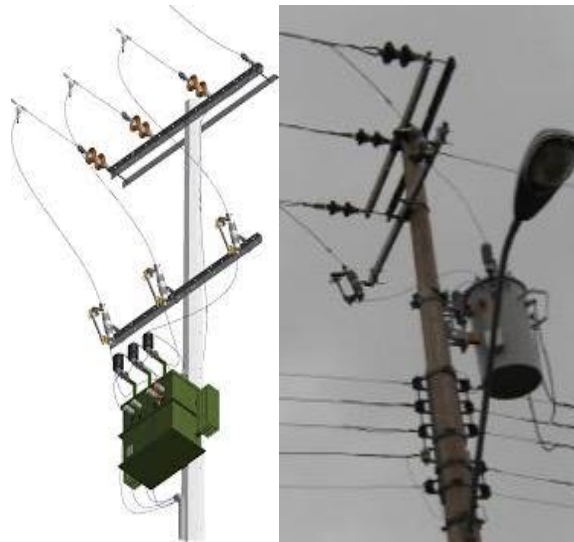


## RESULTADOS

Se desean analizar las pérdidas técnicas por desbalance en una subestación

Características de la Subestación de Media tensión

- Media tensión
- factor de potencia de 0.97 %
- demanda promedio de 8943.51 kW
- pérdidas técnicas máximas permitidas 1 %
- longitud aproximada de la LT54 km
- Transformadores conectados: 70 % trifásicos y 30 % monofásicos.



**Figura 7 Conexiones de transformadores**

1. Analizar las posibles causas que ocasionen desbalance, por el cual vamos a comenzar de manera general hasta llegar a lo particular.
2. Al momento de hacer las conexiones en transformadores trifásicos no hay mucho problema ya que las guías primarias se conectan a las tres líneas primarias, pero sucede lo contrario con un transformador monofásico ya que se cuenta con las mismas tres líneas primarias pero aquí el acomodo de las guías primarias es importante ya que por comodidad o estética se colocan de lado a lado (como en la Fig. 8 ) dejando sola la línea del medio y esto puede sobre saturar las dos líneas causando pérdidas técnicas en las cuales se conectaron las guías primarias por ello es importante tomar la carga que está fluyendo por las líneas con un Ampstik y ahí poder deducir dónde conectar las guías primarias para intentar obtener un sistema balanceado, ver Figuras 8 y 9



## PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN



Figura 8 Conexión monofásica



Figura 9 Toma de carga primaria

3. Cálculo de las pérdidas técnicas que se tienen en el circuito AME5115.

$$F.P.= 0.97$$

$$\text{Demanda}= 8943.51 \text{ kW}$$

$$I_a= 182.6 \text{ Amp}, I_b= 216.55 \text{ Amp}, I_c= 189.37 \text{ Amp} (I_{\text{prom}}= 196.17333 \text{ Amp})$$

$$L_t=L \cdot R_{\text{conductor}}$$

$$L_t=(54.57 \text{ km}) \cdot (1.146 \Omega/\text{Km})=7.9672 \Omega$$

- Con una potencia pérdida en los conductores de:

$$P_p = 3 \cdot R \cdot I_{\text{prom}}^2$$

$$P_p= 3 \cdot 7.96722 \cdot 196.17333^2$$

$$P_p= 919830.6142 \text{ W}$$

- La potencia realmente pérdida es:

$$P_{\text{preal}} = R (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2)$$

$$P_{\text{preal}}= 7.96722 (182.6^2 + 216.55^2 + 189.37^2)$$

$$P_{\text{preal}}= 924975.5939 \text{ W}$$

- Ahorro que se tendría

$$\text{Ahorro}= P_{\text{preal}} - P_p$$

$$\text{Ahorro}= 924975.5939 \text{ W} - 919830.6142 \text{ W}$$

$$\text{Ahorro}= 5144.6671 \text{ W}$$

Teniendo una diferencia de 5.1446 kW, es una pérdida mensual. Considerando un costo promedio para el kWh en México de 3 pesos y estimando un funcionamiento a este régimen de 18 horas diarias entonces la pérdida anual debido al desequilibrio sería de la siguiente manera:

$$5.1446 \text{ (kW)} \cdot 18 \left( \frac{\text{hr}}{\text{dia}} \right) \cdot 30 \left( \frac{\text{dias}}{\text{meses}} \right) \cdot 12 \left( \frac{\text{meses}}{\text{año}} \right) \cdot 3 \left( \frac{\text{pesos}}{\text{kWh}} \right) = 100,011.024 \left( \frac{\text{pesos}}{\text{año}} \right)$$

Se debe observar que esta pérdida se puede evitar, pues se debe al desequilibrio de la carga por ello es importante tener los circuitos balanceados.

## CONCLUSIONES

Para reducir las pérdidas por desequilibrio o desbalance eléctrico, el reparto de carga por las líneas de media tensión es importante y preciso poner mucha atención como se conectan las guías en transformadores monofásicos para no saturar las líneas y que se genere calor el cual produce pérdidas.

Se demostró las consecuencias del desequilibrio por la red eléctrica de distribución afectando de manera económica y eléctrica a un circuito eléctrico de distribución

Con los datos de una subestación ubicada en el Parque Industrial América, en el municipio de Ciénega de Flores, estado de Nuevo León, México, se propone destinar un grupo de cuadrillas para realizar el balanceo de la red de distribución, se podrá ver muchos ahorros en la empresa y hacerla más rentable y competitiva,

Para el caso de estudio presentado el costo el costo una cuadrilla sería de 18 mil pesos por los trabajos de balanceo en el camino de un par de guías con una utilidad de 100,011 pesos en un año.

Al disminuir las Pérdidas Técnicas Brindar es posible proveer un mejor servicio a los usuarios, con mayor confiabilidad y menos interrupciones.

## BIBLIOGRAFÍA

Transporte de energía. (2014). Redes de distribución. Transporte de energía. Recuperado de <https://distribucion.webnode.com.co/que-es-una-red-de-distribucion>.

Fórmulas de física. (16 de enero 2020). Principales elementos de la red de distribución. [Actualización Facebook]. Recuperado de <https://www.facebook.com/212206502917131/photos/pcb.641319323339178/641319286672515/?type=3&theater>

Zapata M. (2019). Subestaciones tipo poste con equipo de medición autocontenido. [manuel.zapata@cfe.mx]

Gómez, J. (2015). Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para la reducción de pérdidas. Pérdidas técnicas y no técnicas de energía, (39), 180-191.

Mederos, J. (29 de octubre de 2015). Pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas. Transformadores. Recuperado de <https://transformadorespsm.wordpress.com/category/sin-categoria/>

Lizárraga, D. (13 de agosto de 2018). Reto de Bartlett: El oscuro negocio con los medidores de luz. Rock 101 Recuperado de <https://rock101online.mx/bartlett-medidores-luz-carlos-peralta/>

Osorio, O. (11 de enero 2010). Termografía en diagnóstico de transformadores de potencia. [inspecciones de termografía infrarroja a transformadores de potencia de 2000 y 2500 KVA en 13.8-0.480/0.277 KV]. Recuperado de <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2010/01/termografia-en-diagnostico-de.html>

Pérez J (2020). Montaje de transformador trifásico en poste. [vereperez1@hotmail.com]

Sánchez, R. (29 de octubre de 2003). Enseñanza de la ingeniería. En contacto Recuperado de <https://www.ruelsa.com/cime/boletin/2003/b67.html#Editorial>

López, F. (2019). Silueta del liniero eléctrico que cierra un transformador monofásico. freepik Recuperado de [https://www.freepik.es/vector-premium/silueta-liniero-electrico-que-cierra-transformador-monofasico\\_5313491.htm](https://www.freepik.es/vector-premium/silueta-liniero-electrico-que-cierra-transformador-monofasico_5313491.htm)

Redondo Quintela F. Energía reactiva y disminución de las pérdidas en distribución de energía eléctrica. Energía. Revista de ingeniería energética y medioambiental. Julio y agosto de 1998.

[EVU-Messtechnik. (2015). Dispositivos de medida para alta y media tensión. EVU-Messtechnik.de Recuperado de <https://www.evu-messtechnik.de/mittelspannung.html>