

# **CAPÍTULO 1**

## **PÉRDIDAS EN DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Este capítulo presenta en forma general las características básicas de los sistemas de distribución, la clasificación de las pérdidas en sistemas de distribución: pérdidas no técnicas y pérdidas técnicas.

### **1.1. GENERALIDADES:**

En los distintos componentes de la red eléctrica se producen, en condiciones normales de funcionamiento, pérdidas técnicas. La economía de la red eléctrica está ligada a su dimensionamiento y a su operación y en particular a las pérdidas que en ella se producen.

Las pérdidas, a nivel nacional, representan un serio problema que se refleja en deficiencias operativas de las Empresas de Distribución, las que ocasionan mayores costos internos que producen un serio impacto sobre las tarifas eléctricas y sobre la economía de las Empresas.

Los esfuerzos realizados por las Empresas Distribuidoras para reducir las pérdidas de energía eléctrica, han rendido pocos frutos, debido a que el tema sigue latente por los escasos resultados logrados en la práctica. Esta situación conlleva, a la búsqueda de soluciones innovadoras al problema; que se basen en el análisis de los programas anteriormente ejecutados y en particular a aquellos que si lograron resultados.

El nivel de pérdidas de una Empresa Distribuidora de energía es una medida de su eficiencia técnica, comercial y administrativa para atender el servicio demandado por sus clientes.

### **1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN<sup>1</sup>**

Las redes de distribución presentan características muy particulares y que los diferencian de las de transmisión. Entre estas se distinguen:

---

<sup>1</sup> MUÑOZ, Cristián, Flujo de potencia trifásico para sistemas de distribución, Tesis P.U.C.CH Departamento de Ingeniería Eléctrica, Santiago de Chile, Junio de 1989.

- topologías mayormente radiales;
- múltiples conexiones (trifásicas, bifásicas, monofásicas);
- cargas de distinta naturaleza;

Los sistemas de distribución en un alto porcentaje son típicamente radiales, esto es, el flujo de potencia nace solo de un nodo, este nodo principal es la subestación que alimenta al resto de la red. En la subestación se reduce el voltaje del nivel de alta tensión (A.T.), al nivel de media tensión (M.T.). Comúnmente se utiliza para el control de tensión en el lado de M.T. un transformador con cambiador de derivaciones. El cambiador automático de derivaciones en el transformador de potencia A.T. / M.T. de sistemas de distribución permite efectuar el cambio de derivaciones con carga conectada (*Load Tap Changer, LTC*). Dependiendo del fabricante el LTC se encuentra en el lado de A.T. o en el lado de M.T. del transformador de potencia.

La distribución se hace en el nivel de M.T. o en baja tensión (B.T.). Los clientes residenciales y comerciales se alimentan en B.T., los clientes industriales en cambio se alimentan en M.T. o en B.T., según los requerimientos de cada uno de ellos.

En estos sistemas de distribución se puede encontrar varios tipos de conexiones así tenemos: trifásicas, bifásicas o monofásicas. Si bien es cierto que en M.T. la gran mayoría son redes trifásicas, se puede también encontrar cargas bifásicas, especialmente en zonas rurales. Pero es en B.T. en donde se encuentran los más variados tipos de conexiones, por la gran mayoría de cargas residenciales de naturaleza monofásica. Los desequilibrios que se generan en B.T. se pueden amortiguar equilibrando las cargas en las tres fases.

Otro aspecto particular en las redes de distribución es la presencia de cargas de distinta naturaleza; en efecto los tipos de carga que comúnmente se encuentran son: residenciales, comerciales, industriales, agro-industriales (estas últimas muy típicas en zonas rurales); cada uno de estos tipos se caracteriza por poseer un factor de potencia típico y un determinado comportamiento frente a las variaciones de voltaje y temperatura.

### **1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS**

Las pérdidas de energía equivalen a la diferencia entre la energía comprada y la energía vendida y pueden clasificarse como pérdidas no técnicas o comerciales (comúnmente llamadas pérdidas negras) y pérdidas técnicas.

#### **1.3.1. PÉRDIDAS NO TÉCNICAS<sup>2</sup>**

No toda la energía eléctrica que se produce, se vende y se factura. Por lo tanto todas las empresas suministradoras del servicio de electricidad registran pérdidas en la energía que generan y tienen disponible para su venta. Es decir, una proporción de la energía se queda por ahí. Los aparatos de medición no lo contabilizan como entregado a los usuarios y, por lo tanto, no puede ser objeto de cobro. Por lo tanto, las pérdidas no técnicas no constituyen una pérdida real de energía, ésta es utilizada por algún usuario que es suscriptor o no, de la empresa distribuidora la misma que solo recibe parte o ninguna retribución por la prestación del servicio.

Las pérdidas no técnicas se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios así tenemos<sup>3</sup>:

- a. Clasificación según la causa que las produce:
  - Consumo de usuarios no suscriptores o contrabando.- comprende fundamentalmente la conexión directa de usuarios del servicio a una red sin haber suscrito un contrato o acuerdo con la empresa distribuidora de energía. En este grupo también se encuentran los usuarios que habiendo tenido un contrato con la empresa distribuidora son desconectados de la red, y se vuelven a conectar a ésta sin autorización sin tener además medición de energía consumida,
  - Error en la contabilización de energía.- comprende todos los errores de medición de contadores de energía, lectura y facturación de suscriptores excluyendo de este grupo a los casos de adulteración de los equipos de medición,

---

<sup>2</sup> [http://www.miliarium.com/Paginas/Leyes/Energia/estado/RLAAT\\_2.htm](http://www.miliarium.com/Paginas/Leyes/Energia/estado/RLAAT_2.htm)

<sup>3</sup> OLADE, Manual Latinoamericano y del Caribe para el Control de Pérdidas Eléctricas Volumen I, Diciembre 1993.

- Error en consumo estimado (de suscriptores sin contador de energía).- comprende a todos aquellos suscriptores que por cualquier motivo son facturados por una estimación de su consumo,
  - Fraude o hurto.- comprende todos los casos en los que el usuario, siendo un suscriptor de la empresa distribuidora de energía, altera intencionalmente el equipo de medición o toma directamente la energía de la red,
  - Error en consumo propio de las empresas distribuidoras.- comprende la energía consumida y no contabilizada por la empresa encargada de la distribución. Incluye generalmente el consumo no medido de auxiliares de subestaciones, alumbrado público, etc.
- b. Clasificación según relación con la actividad administrativas de la empresa.- es evidente que un sistema de medición defectuoso o que no se aplique en forma estrictamente periódica, procesos de facturación inadecuados e incapacidad para detectar y controlar las conexiones ilegales son un reflejo de la capacidad administrativa de la empresa distribuidora, o la falta de mecanismos legales para actuar en estos casos, así tenemos:
- Por registro o medición deficiente del consumo,
  - Por facturación incorrecta de los usuarios.

Todas las pérdidas de energía tienen efectos adversos para las empresas de distribución. Debido a ellas, se encuentran obligadas a comprar energía adicional para satisfacer la demanda aparente, con lo cual se incrementan los costos. La reducción de las pérdidas no técnicas, por lo tanto, reduce el volumen de energía que las empresas de distribución deben adquirir para satisfacer la demanda aparente que no puede facturar, e incrementa el volumen de energía eléctrica efectivamente vendida.

En los sistemas de las empresas eléctricas de distribución del Ecuador, conformados por: líneas de subtransmisión, subestaciones, redes, transformadores, acometidas y sistemas de medición para abonados; según estimaciones del año 2005, las pérdidas totales de energía fueron del 23,87% (tabla 1.2); el 10,10 % fueron pérdidas técnicas

(tabla 1.4); y el resto, 13,76 %, correspondió a pérdidas no técnicas, datos que se presentan en la tabla 1.1.

<b>Empresa Distribuidora</b>	<b>Pérdidas No Técnicas (%)</b>
Ambato	4,87
Azogues	1,83
Bolívar	6,57
Categ - D	18,09
Centro Sur	3,40
Cotopaxi	1,89
El Oro	20,04
Esmeraldas	16,32
Galápagos	2,36
Guayas-Los Ríos	27,52
Los Ríos	18,84
Manabí	26,94
Milagro	32,16
Norte	4,99
Quito	2,99
Riobamba	9,72
Santa Elena	22,52
Santo Domingo	8,75
Sucumbíos	21,05
Sur	2,79
<b>TOTAL</b>	<b>13,76</b>

Fuente: CONELEC, Estadísticas, Año 2006

**Tabla 1.1.** Porcentaje de Pérdidas no Técnicas por Empresa Distribuidora año 2005

La Empresa que mayores pérdidas no técnicas presentó es Milagro con 32,16%, le siguen, Guayas-Los Ríos con 27,52%, Manabí con 26,94% y, las Empresas con menores pérdidas fueron Azogues con 1,83% y Cotopaxi con 1,89%.

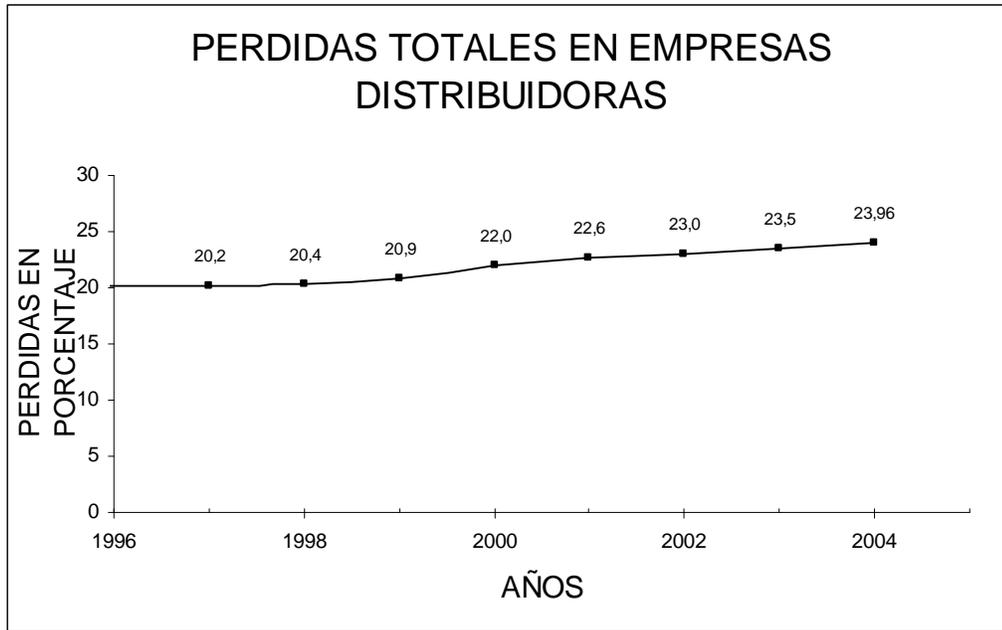
<b>Empresa Distribuidora</b>	<b>Pérdidas Totales (%)</b>
Ambato	14,33
Azogues	5,57
Bolívar	18,34
Categ-D	27,36
Centro Sur	9,48
Cotopaxi	13,44
El Oro	30,35
Esmeraldas	30,42
Galápagos	7,84
Guayas-Los Ríos	38,13
Los Ríos	31,15
Manabí	40,12
Milagro	41,85
Norte	14,58
Quito	13,14
Riobamba	19,60
Santa Elena	31,00
Santo Domingo	18,97
Sucumbíos	38,07
Sur	13,86
<b>TOTAL</b>	<b>23,87</b>

Fuente: CONELEC, Estadísticas, Año 2006

**Tabla 1.2.** Pérdidas Totales de Energía por Empresa Distribuidora año 2005

Las pérdidas totales que se presentan en la tabla 1.2 de las empresas distribuidoras, procesadas por el CONELEC a partir de la promulgación de la Ley del Régimen del Sector Eléctrico en el año 1996, han ido incrementándose permanentemente. Los porcentajes de pérdidas anuales registran valores de: 9,5%, 20,2%, 20,4%, 20,9%, 22%, 22,6%, 23%, 23,5% y 23,96%, desde 1996 a 2004<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> JATIVA, Jesús Dr., “Análisis del funcionamiento del sector eléctrico en el año 2004”, Revista CIEEPI, No 8, Quito, Junio 2005.



**Figura 1.1.** Incremento de Pérdidas Totales en Empresas Distribuidoras desde el año 1996 al año 2004

El Reglamento de Tarifas vigente en el Ecuador establece que los límites admisibles para las pérdidas no técnicas en el cálculo de tarifas, serán fijadas por el CONELEC para cada distribuidor, en 2%, porcentaje máximo aceptable que deberá mantenerse a futuro. Se consideran dentro del cálculo del Valor Agregado de Distribución (VAD), la incidencia de las inversiones e incrementos en costos que el distribuidor realiza para cada período anual en el cumplimiento del programa de reducción de pérdidas no técnicas.

En las reuniones periódicas de los responsables de las unidades de pérdidas no técnicas de las Empresas Eléctricas, se han emitido una serie de recomendaciones, entre las cuales conviene destacar las siguientes, que podrán adoptarse evaluando la relación beneficio / costo:

- Utilizar programas informáticos para optimizar las ampliaciones, cambios, mejoras y operación de los sistemas de distribución; así como los procesos de registro de clientes, lectura, facturación y control de robos de energía; y,

- Realizar campañas de educación y publicidad, para difundir los derechos y obligaciones de los distribuidores y los clientes.

### **1.3.2. PÉRDIDAS TÉCNICAS<sup>5</sup>**

Las pérdidas técnicas constituyen una parte de la energía que no es aprovechada y que el sistema requiere para su operación, es decir, es la energía que se pierde en los diferentes equipos, redes y elementos que forman parte del sistema de distribución y que sirven para conducir y transformar la electricidad y pueden ser determinados por métodos mesurables y analíticos con las herramientas que dispone la empresa distribuidora, sean éstas hardware, software, instrumentos de medición, otros.

Representan la energía que se pierde durante la transmisión dentro de la red y la distribución como consecuencia de un calentamiento natural de los conductores que transportan la electricidad desde las plantas generadoras.

Este tipo de pérdidas es normal en cualquier distribuidora de energía y no pueden ser eliminadas totalmente; sólo pueden reducirse a través del mejoramiento de la red.

Para lograr un plan adecuado de control y reducción de pérdidas técnicas, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Diagnóstico del estado actual del sistema;
- Proyección de la carga;
- Revisión de los criterios de expansión;
- Estudios de flujos de carga para optimizar la operación de líneas y redes;
- Analizar la ubicación óptima de transformadores y usuarios;
- Realizar estudios de reconfiguración de alimentadores primarios.

---

<sup>5</sup> MALDONADO, Remigio Ing, “Reflexiones sobre las pérdidas de energía eléctrica”, Revista CIEEPI, No 8, Quito, Junio del 2005.

<b>Empresa Distribuidora</b>	<b>Perdidas Técnicas (%)</b>
Ambato	9,46
Azogues	3,74
Bolívar	11,76
Categ - D	9,27
Centro Sur	6,08
Cotopaxi	11,55
El Oro	10,32
Esmeraldas	14,10
Galápagos	5,49
Guayas-Los Ríos	10,61
Los Ríos	12,31
Manabí	13,18
Milagro	9,69
Norte	9,60
Quito	10,15
Riobamba	9,88
Santa Elena	8,49
Santo Domingo	10,22
Sucumbíos	17,02
Sur	11,07
<b>TOTAL</b>	<b>10,10</b>

Fuente: CONELEC, Estadísticas, Año 2006

**Tabla 1.3.** Porcentaje de Pérdidas Técnicas por Empresa Distribuidora 2005

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

1. Por la función del componente:

Pérdidas por transporte:

- En líneas de subtransmisión,
- En circuitos de distribución primaria,
- En circuitos de distribución secundaria.

Pérdidas por transformación:

- En transmisión / subtransmisión,
- En subtransmisión / distribución,
- En transformadores de distribución.

2. Por la causa que las originan:

a) Pérdidas por efecto *Joule*<sup>6</sup>

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*”.

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 “.

$$Q = I^2 \times R \times t \quad (\text{Watt})$$

Las pérdidas por efecto Joule se manifiestan principalmente en:

- Calentamiento de cables.
- Calentamiento de bobinados de los transformadores de distribución.

b) Pérdidas por histéresis y corrientes parásitas<sup>7</sup>

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 perdida en la imantación del núcleo del transformador y es llamada pérdida por histéresis.

Por otro lado los equipos eléctricos están formados por pedazos de conductor 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* y son corrientes que generan pérdidas.

---

<sup>6</sup> <http://www.monografias.com/trabajos/termodinamica/termodinamica.shtml>

<sup>7</sup> <http://www.ifent.org/lecciones/Cap07/cap0706.htm>

Otra forma de clasificar las pérdidas técnicas tiene en cuenta que ciertas pérdidas, tanto de potencia como de energía, varían con la demanda o son aproximadamente fijas independientemente de las variaciones de la carga. Estas pérdidas son:

a. 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. Estas pérdidas fijas son:

- Pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas.

b. Pérdidas Variables.- son aquellas que dependen de la demanda y son:

- Pérdidas por efecto Joule que constituyen la totalidad de las pérdidas técnicas variables.