

MANUAL LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE PARA EL CONTROL DE PERDIDAS ELECTRICAS

Estrella Parra Víctor Borrero Renato Céspedes Germán Corredor
Hernando Díaz Lucio Flórez Luis A. Olarte César Torres
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

RESUMEN

El Manual descrito en este artículo es una recopilación de metodologías para la estimación y control de pérdidas de energía eléctrica por parte de las compañías de electricidad. Este trabajo, elaborado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia bajo un contrato suscrito con la Organización Latinoamericana de Energía — OLADE — es una herramienta funcional para que las empresas de electricidad de los países del área puedan acometer, de manera sistemática y unificada, los estudios de pérdidas eléctricas de sus sistemas para lograr un control adecuado de las mismas.

Dentro de esta perspectiva el manual presenta un marco general sobre la problemática de las pérdidas eléctricas; propone modelos para el análisis, estimación y control de pérdidas, tanto técnicas como no técnicas; plantea metodologías de análisis económico y financiero de los proyectos de control de pérdidas y presenta esquemas organizacionales para que las empresas puedan lograr el objetivo de identificar y controlar las pérdidas. El criterio fundamental con el cual se desarrolló el manual se basó en el planeamiento y diseño óptimos teniendo en cuenta las pérdidas técnicas, y en el control de las pérdidas no técnicas utilizando métodos estadísticos para la detección y cuantificación de fraudes y otros consumos no facturados.

ABSTRACT

The work described in this paper is intended to be a functional tool for electric utilities in Latin America and the Caribbean, which want to start their own electric energy loss control programs. It provides criteria for unified and systematic control programs.

The Manual presents a general economical frame of reference, as well as mathematical and economical models for the analysis, estimation and control of electric energy losses, both technical and non-technical. It also presents a methodology for economical and financial evaluation of electric loss control projects, and organizational and managerial recommendations designed to help utilities identify and control electric energy losses.

The foundation for the development of the manual is the acknowledgement that optimal design and planning, including the cost of losses, should be the main tool for reducing technical losses. Non-technical losses should be controlled by using statistical methods of detection and estimation.

1 Introducción

A raíz de acontecimientos ocurridos durante los últimos quince años, se ha venido adquiriendo conciencia en todo el mundo, acerca de la importancia del uso eficiente de los recursos energéticos. En particular, la conservación de energía, se ha destacado como la mejor forma de contribuir a la optimización de los requerimientos de inversión del sector de energía.

A nivel Latinoamericano y del Caribe, los niveles de pérdidas en el subsector de energía eléctrica, han alcanzado valores realmente alarmantes, llegando a ser superiores al 30 % de la generación total. Esta situación ha sido causada por un exceso de inversión en las áreas de generación y transmisión, en detrimento de los sistemas de distribución [7] y por deficiencias organizacionales y administrativas en muchas empresas de energía de la región.

Consciente de la gravedad del problema en la región, OLADE creó el Programa Regional de Evaluación, Reducción y Control de Pérdidas Eléctricas en 1988, con el fin de contribuir a su solución. En Octubre del mismo año, se llevó a cabo el primer Simposio Latinoamericano sobre control de pérdidas eléctricas, una de cuyas principales recomendaciones fue la de desarrollar un Manual que sirviera a las empresas como referencia para la organización y realización de programas de control de pérdidas.

El presente trabajo resume los aspectos principales del Manual, desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia mediante un contrato suscrito con OLADE; se presentan los criterios utilizados para la escogencia de diferentes metodologías y modelos y se describen algunas experiencias exitosas, por parte de empresas eléctricas de la región, para el control de pérdidas. El artículo describe los diferentes temas tratados en el Manual, en el orden en que aparecen los capítulos en el reporte final.

2 Consideraciones generales

Tradicionalmente los planificadores energéticos y económicos en general, sostenían que la energía constituía un motor para el crecimiento y desarrollo. Sin embargo, acontecimientos ocurridos durante los últimos diez a quince años muestran que la falta de coordinación entre las políticas de desarrollo económico y las estrategias energéticas, han hecho que el sector no juegue necesariamente el papel de motor que se le había asignado. Surge, en consecuencia, la necesidad de integrar las estrategias de desarrollo energético en el marco más general del desarrollo económico para cada uno de los países de la región.

A partir de 1973 se ve la necesidad de integrar las

políticas subsectoriales. Esto llevo a estudiar más a fondo el consumo energético para analizar potencialidades de ahorro y conservación de hidrocarburos. Se comenzó en esta forma una "Planificación Energética Integral".

Esta planificación, aplicada al subsector de energía eléctrica, identifica como una prioridad el aumento de la eficiencia de este sector por medio de una disminución de los porcentajes de pérdidas de energía que se registran en el mismo y que en la región superan los niveles considerados aceptables para sistemas eléctricos planeados y operados con criterios económicos [11].

La eficiencia económica del sector eléctrico se cumplirá, si se cumplen simultáneamente los criterios de eficiencia productiva y eficiencia en la asignación de recursos. La eficiencia productiva se logrará por medio de políticas adecuadas de expansión y de operación.

La asignación óptima de recursos se logrará, a través de políticas tarifarias basadas en criterios de costo marginal de largo plazo.

Lo anterior hace imperativo que se tomen acciones en las siguientes áreas para mejorar la eficiencia del sector eléctrico:

- Planificación de los sistemas.
- Planificación financiera.
- Operación óptima de los sistemas.
- Gestion empresarial.
- Política tarifaria.

Como parte de la planificación de los sistemas se debe tener en cuenta los criterios económicos adecuados, incluyendo los relacionados con pérdidas de energía, que redunden en el óptimo económico global de expansión. En esta planificación deben identificarse las medidas necesarias para reducir y mantener a corto, mediano y largo plazo niveles de pérdidas económicas.

La disminución de pérdidas a todo nivel, se traduce en una mayor disponibilidad de capacidad instalada y menor consumo de combustible para un mismo nivel de beneficio social y económico de consumo de la electricidad. Esto implica para el sector energético, una menor utilización de energía primaria y una eventual disminución de inversiones en el subsector eléctrico.

Desde el punto de vista macroeconómico, el impacto de la reducción de pérdidas puede materializarse en varias formas. Por una parte, se liberan recursos financieros —de por sí escasos— los cuales, de acuerdo con prioridades de desarrollo económico, pueden ser volcados a otros sectores de la economía. De otro lado los ahorros de combustibles, disminuyen la presión sobre la balanza de pagos de los países importadores de petróleo.

Bajo el supuesto que las pérdidas en energía se pudieran reducir del nivel actual —cualquiera que sea— en un 5% de la generación total para el año 2000 (esto representa menos de un 0.5% anual de disminución de las pérdidas en un período de 12 años) y suponiendo que el sector eléctrico del área crece a un ritmo del 5% anual en promedio, la cantidad de energía total que se ahorra en los doce años, sería del orden de 262000 GWH (aproximadamente 50% del total generado en 1988) es decir 22000 GWH en promedio por año para el período analizado.

Por otra parte, la reducción de las pérdidas se traduce en una disminución del pico de carga y por ende se difieren las necesidades de una capacidad instalada adicional, la cual se puede estimar en más de 9000 MW

— 6.7% de la capacidad instalada actual — al final del período de 12 años analizado.

Estas cifras, estimadas muy conservativamente con respecto al verdadero ahorro esperado de medidas de reducción de pérdidas efectivas en la región, permiten visualizar la gran importancia de mejorar la eficiencia de los sistemas eléctricos en América Latina y el Caribe.

3 Balances de energía

Las pérdidas de energía se estiman globalmente a partir de los balances de energía que se efectúan para cada sistema eléctrico y que presentan los datos más importantes de la operación del sistema para un período determinado.

La exactitud del balance de energía y por consiguiente del valor global de las pérdidas de energía, depende de tres factores principales:

- Precisión de las medidas de energía.
- Simultaneidad de las lecturas.
- Periodicidad de las lecturas.

Para una mejor visión del comportamiento de las pérdidas en el tiempo y con el fin de evitar efectos estacionales que se reflejen en las cifras, es conveniente, además de efectuar el balance mensual o bimensual (de acuerdo con la periodicidad de las lecturas de medidores), realizar un balance anual acumulado para el año en curso y para los doce últimos meses.

Los datos necesarios para el balance son:

- Generación neta.
- Intercambios netos (compras menos ventas).
- Ventas de energía.

A partir de estos datos se calculan las pérdidas de energía (L) como

$$L = \begin{matrix} \text{Generación} \\ \text{neta} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{Intercambios} \\ \text{netos} \end{matrix} - \text{Ventas} \\ = \text{Energía disponible} - \text{Ventas}$$

Las pérdidas se calculan en porcentaje dividiendo por la energía disponible

$$L(\%) = \frac{L}{\text{Energía disponible}} \times 100 \\ = 100 - \text{Eficiencia} (\%)$$

Diversos estudios recomiendan que el porcentaje de pérdidas total $L(\%)$ sea inferior al 10% y es deseable que sea aún menor, del orden de un 6 a un 8%. Sin embargo, es importante anotar que el nivel óptimo de pérdidas es diferente para cada sistema ya que depende de las características propias de su sistema eléctrico y de los costos y beneficios que se deriven de la reducción de pérdidas de energía [8].

El balance anterior debe complementarse con balances por subsistema, para localizar las pérdidas según zonas geográficas o por niveles de tensión. Con este fin deben ubicarse convenientemente medidores de energía en las fronteras de los subsistemas seleccionados. Un subsistema puede ser un circuito de distribución o un conjunto de ellos o todo un sistema de distribución.

Las pérdidas se calculan por subsistema en la forma descrita anteriormente.

Un índice de pérdidas elevado puede tener su origen en diferentes causas, dependiendo de las características particulares del sistema. Para desglosar las causas, es conveniente visualizar el flujo de energía disponible en el sistema. En general, los sistemas con mayores porcentajes de pérdidas a niveles de tensión bajos tienen un mayor valor esperado de pérdidas.

A manera ilustrativa se presentan los siguientes valores de pérdidas por subsistema, tomados de la literatura técnica [8]:

	Porcentaje deseable de pérdidas
Transmisión ¹	1.4
Subtransmisión ¹	2.0
Distribución	3.2
TOTAL	6.6 %

¹ Incluye pérdidas de transformación al nivel de tensión inferior

4 Clasificación de pérdidas en sistemas eléctricos

El conjunto de las pérdidas eléctricas de un sistema debidas a fenómenos físicos se denomina pérdidas técnicas. Estas pérdidas se deben a las condiciones propias de la conducción y la transformación de la energía eléctrica. Las pérdidas técnicas se pueden clasificar a su vez según la función del componente y según la causa que las origina. También se pueden dividir en pérdidas fijas ante variaciones de la demanda y pérdidas variables con ésta.

Las pérdidas no técnicas se calculan como la diferencia entre las pérdidas totales y las pérdidas técnicas. Se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios. Entre los más convenientes para propósitos de este manual se encuentran los siguientes:

- Clasificación según la causa que las produce.
- Clasificación según su relación con las actividades administrativas de la empresa.

La figura 1 resume la clasificación de las pérdidas.

5 Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas constituyen energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna manera. Por esta razón deben ser el objetivo primordial de cualquier programa de reducción de pérdidas. La energía recuperada permite diferir cuantiosas inversiones en generación. El manual incluye metodologías de estimación y control de pérdidas técnicas, como se describe a continuación.

5.1 Estimación de pérdidas

La estimación de las pérdidas de potencia requiere herramientas computacionales tales como un programa de flujo de carga. A partir de las pérdidas de potencia se pueden calcular las pérdidas de energía utilizando una integración numérica o factores de pérdidas apropiados.

Estos están relacionados con los factores de carga del sistema.

En algunos casos se dispone de programas de estimación de estado, que reciben datos en tiempo real y que hacen parte de centros de control. Este tipo de herramienta es muy preciso, pero generalmente se limita a las redes de alta tensión.

Para la extrapolación de resultados o para la estimación, en primera aproximación, de pérdidas en circuitos a bajas tensiones se utiliza la correlación con circuitos similares.

5.1.1 Información requerida para la estimación

Esta información es normalmente voluminosa y en muchos casos no está disponible en las empresas, lo cual dificulta el proceso de estimación. La información es de dos tipos: Características y parámetros de la red (configuraciones, impedancias, etc.) y características de la carga (demanda horaria, energía consumida, número de usuarios, etc.).

5.1.2 Metodologías de estimación

El desglose de las pérdidas por causa exige metodologías adecuadas de acuerdo con la información disponible y el grado de precisión buscado. El manual presenta varios métodos propuestos en la literatura para la estimación de las pérdidas técnicas [8,9].

Uno de los aspectos más importantes es la estimación de la demanda, sobre todo a niveles de tensión bajos. El cálculo de ésta puede basarse en datos tales como energía facturada, demanda máxima de los circuitos, capacidad de transformación, etc. y complementarse con mediciones para validar los resultados.

5.2 Control de pérdidas

La mejor estrategia para el control de pérdidas técnicas es un planeamiento adecuado tanto de la operación como de la expansión del sistema. Para cada sistema existe un punto en el cual cualquier reducción adicional del nivel de pérdidas es compensado por los costos asociados con esta reducción. Este será el nivel económico de pérdidas para ese sistema. La evaluación de los diferentes proyectos de reducción de pérdidas debe considerar todos los costos y beneficios asociados con ellos.

El manual hace énfasis en la conveniencia de diseñar el sistema futuro en forma apropiada, como alternativa a las "medidas remediales", generalmente más costosas y menos efectivas.

Diversos factores influyen en el nivel de pérdidas, siendo los más importantes:

- Factor de potencia.
- Resistencia de los conductores tanto de líneas como de transformadores.

La escogencia óptima de los elementos de acuerdo con criterios de pérdidas y según las condiciones de carga, garantiza el control de pérdidas en los diferentes niveles de tensión.

Para lograr un planeamiento adecuado y una reducción efectiva de pérdidas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

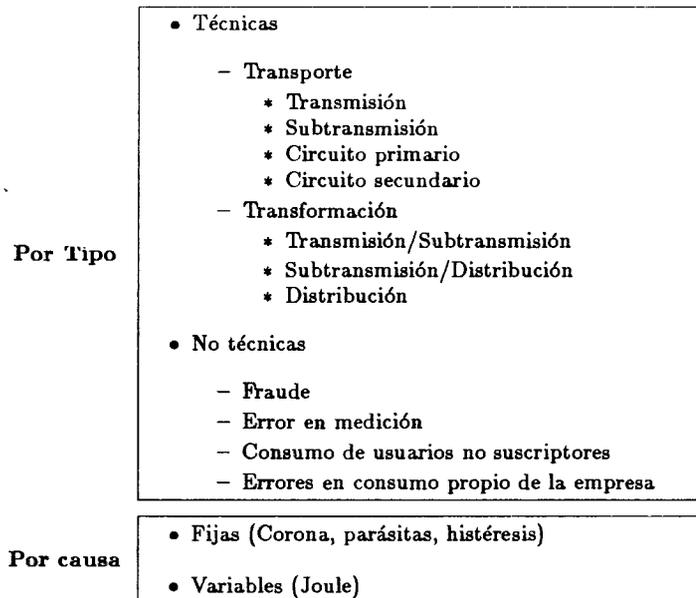


Figura 1. Clasificación de las pérdidas

- Diagnosticar el estado actual del sistema.
- Predecir la carga.
- Revisar las normas y criterios de expansión.
- Mejorar el factor de potencia.
- Mejorar el balance de las fases.
- Manejar adecuadamente la carga de transformadores y usuarios.

Aunque las pérdidas en procesos de generación normalmente no se incluyen en las pérdidas técnicas, su control permite lograr ahorros significativos en las plantas de producción de electricidad. Los mayores ahorros se logran en las plantas térmicas, las cuales requieren un porcentaje considerable de su generación para los auxiliares de la planta.

Se han detectado ahorros importantes en el proceso de almacenamiento del combustible en plantas de carbón. Por otra parte, el ajuste adecuado de los mecanismos de control de la planta permite optimizar su rendimiento.

La especificación adecuada de plantas nuevas y el acondicionamiento de plantas existentes según su tipo de trabajo (carga base o en pico) es esencial para que el sistema generador tenga una eficiencia aceptable.

6 Pérdidas no técnicas

Las pérdidas no técnicas no constituyen una pérdida real para la economía. En efecto, esta energía se utiliza por algún usuario —suscriptor o no— pero la empresa recibe sólo una parte de la retribución por el valor correspondiente a la prestación del servicio. Esta situación produce generalmente una asignación no óptima de los recursos de la economía y constituye una de las principales causas de dificultades financieras por parte de las empresas.

El manual presenta metodologías de estimación y control de pérdidas no técnicas, tanto a nivel global como desglosadas, según las causas que las producen. Se han recopilado medidas probadas con éxito en diversas empresas latinoamericanas.

Una forma útil de clasificar las causas de pérdidas no técnicas y financieras es de acuerdo con su relación con las actividades administrativas de la empresa. El proceso administrativo que la empresa efectúa sobre la energía distribuida puede dividirse en tres subprocesos para los cuales se identifican las siguientes pérdidas:

- Registro de consumos.
 - Usuarios sin contador.
 - * Conexiones ilegales o contrabando.
 - * Errores en estimación de consumos.
 - * Errores en estimación de consumos propios no medidos.
 - * Errores por instalaciones provisionales.
 - Usuarios con contador.
 - * Fraude.
 - * Errores de medición del consumo.
 - * Errores en procedimiento administrativo del registro del consumo.
- Facturación.
 - Mala información de suscriptores.
 - Mal uso de la información.
- Recaudo.

Es evidente que en una empresa, un sistema de medición defectuoso o que no se aplique en forma estrictamente periódica, unos procesos de facturación inadecuados e incapacidad para detectar y controlar las conexiones ilegales, son un reflejo de la incapacidad administrativa de la institución. También, como consecuencia de lo anterior, estas empresas tienden a tener una cartera morosa elevada [7].

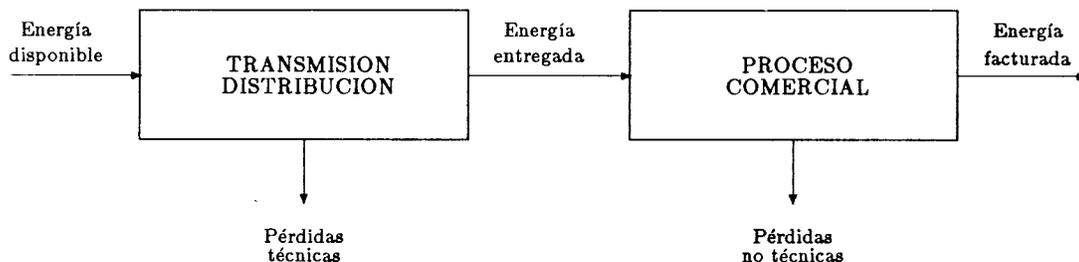


Figura 2. Pérdidas técnicas y no técnicas

La estimación global de las pérdidas no técnicas, involucra la estimación de las pérdidas técnicas obteniéndose las primeras por diferencia. Por lo tanto, la incertidumbre en el valor de las pérdidas no técnicas, aumenta cuando crece el error en la estimación de la energía disponible o de las pérdidas técnicas. Además de esta estimación global, es necesario desagregar las pérdidas no técnicas según su distribución geográfica. Esto permite localizarlas con el fin de detectar las áreas más afectadas, en las cuales se debe iniciar prioritariamente el proceso de control.

6.1 Fraude

La metodología de estimación de este tipo de pérdidas no técnicas se basa en la expuesta en [1]. Utiliza una muestra, global o estratificada por clase de suscriptor, en la cual se realiza un aforo o censo de carga. De este dato y de la energía consumida se obtiene un factor de utilización real de la energía. El cálculo de las pérdidas se basa en los siguientes supuestos:

- El factor de utilización real es el mismo para los usuarios que hacen fraude y para aquellos que no lo hacen.
- La energía facturada es menor para los usuarios que hacen fraude.

De los resultados del muestreo se obtienen los valores esperados de pérdidas, los cuales se extrapolan al conjunto de la población.

La revisión de las instalaciones de medida y de las acometidas, constituye la herramienta más efectiva para la detección de infractores y para el control de las pérdidas no técnicas. Esta persigue dos fines:

- Identificar las instalaciones con medidores defectuosos o adulterados.
- Servir como datos muestrales para la estimación de pérdidas debidas al fraude, para lo cual se recomienda utilizar una muestra estratificada.

El manual recomienda la implantación de medidas punitivas (multas, cortes de servicio, etc.) tendientes a reducir la conciencia de impunidad, considerada como una de las causas más importantes de la proliferación de fraudes. Estas deben complementarse con medidas preventivas que minimicen la posibilidad de alteraciones en los medidores y las acometidas (medidas técnicas) y medidas educativas.

6.2 Usuarios no suscriptores

La característica más relevante de este tipo de consumo es la de presentarse en los sectores de bajos ingresos, generalmente comunidades marginales o subnormales.

La estimación de la energía consumida por estos usuarios se puede realizar por medio de la extrapolación de valores individuales obtenidos por muestreo, sea de consumidores individuales o en circuitos completos o ambos. Otra forma de estimar la energía consumida consiste en la correlación con grupos de consumidores con características socio-económicas similares. Una alternativa a los métodos anteriores es la instalación de medidores comunales por sector.

El objetivo final del programa de control debe ser la incorporación de los usuarios a la categoría de suscriptores regulares. Este proceso debe ser gradual y desarrollarse de acuerdo con las características particulares de cada comunidad. En muchos casos la empresa debe colaborar para aclarar los problemas relacionados con la posesión de la tierra antes de legalizar instalaciones eléctricas. Por otra parte, la diligencia de la empresa en atender las necesidades de los usuarios evita la instalación de redes no apropiadas que toman la energía de redes vecinas, ocasionando daños y degradación de la calidad del servicio.

La instalación de "medidores comunales" ha dado buen resultado en varias empresas Latinoamericanas para la estimación precisa de consumos o para efectuar un cobro global a la comunidad [6,10].

6.3 Errores en la estimación de los consumos

Estos errores son de dos tipos: Los derivados de mediciones defectuosas y los producidos por estimación del consumo de algunos usuarios.

Los primeros tienen su origen en la descalibración propia de los medidores y en errores de montaje de los equipos de medición. Las causas principales de este tipo de errores son: Error intrínseco del aparato, descalibración, daño del medidor, envejecimiento y error en el montaje de los transformadores de corriente o potencial.

Los errores por ventas en bloque a otras empresas, de producirse, tienen un impacto enorme ya que sobre ellas se basa una facturación importante de energía. Cualquier inversión en equipo o mantenimiento en esta área es rentable para la empresa.

La principal medida de control consiste en reemplazar medidores defectuosos por nuevos y ajustar los descali-

CRITERIO	REQUISITO
Tasa interna de retorno	Mayor que la tasa de descuento
Valor presente neto	Mayor que cero (> 0)
Relación beneficio-costos	Mayor que uno (> 1)

Tabla 1: Índices como criterios de decisión

ibrados. Las medidas deben incluir un programa de revisión de medidores de acuerdo con una prioridad que puede ser la siguiente: Plantas generadoras, puntos de intercambio, subestaciones, grandes consumidores y resto de consumidores.

7 Evaluación económica y financiera

La evaluación económica tiene en cuenta los costos y beneficios de los proyectos desde el punto de vista de la economía en su conjunto, determinando la conveniencia de realizar o no un proyecto para la sociedad. Esta forma de evaluación es aplicable a los proyectos de pérdidas, sin descartar que desde el punto de vista de las empresas encargadas de prestar el servicio de energía eléctrica, el análisis financiero de un proyecto da importantes resultados para la toma de decisiones [4.5.8].

En el manual se presenta una metodología ampliamente conocida y usada en Latinoamérica, para la evaluación económica y financiera de los proyectos.

La evaluación económica busca establecer la rentabilidad económica del proyecto, su prioridad y el impacto distributivo dentro de la sociedad. Con este propósito se utilizan "precios sombra" o "precios de cuenta" los cuales, a diferencia de los precios del mercado, evitan las distorsiones de éste. La metodología de evaluación utiliza índices como criterios de decisión, los cuales deben ser mayores que ciertos límites para que el proyecto se pueda considerar como económicamente atractivo (ver tabla 1).

La cuantificación de beneficios se establece sin y con proyecto, calculando los costos a precios constantes de un año con el fin de eliminar los efectos de la inflación.

Los beneficios más importantes atribuibles a proyectos relacionados con la reducción de pérdidas son los siguientes:

- Reducción de pérdidas técnicas, valorados sobre la base del costo incremental de largo plazo.
- Reducción de pérdidas no técnicas.
- Disminución de costos de operación y mantenimiento.
- Reducción del nivel de fallas.
- Mejoras en la regulación de tensión.

Como parte importante de la evaluación económica, el *análisis distributivo* tiene el propósito de determinar quiénes son los beneficiarios de un proyecto y cómo se distribuyen los beneficios entre ellos. Para los proyectos relacionados con la reducción de pérdidas se pueden identificar los siguientes grupos beneficiarios: Gobierno, empresas generadoras, empresas mayoristas, empresas distribuidoras entre los grupos del sector público; consumidores de bajos ingresos en el grupo del sector privado.

Técnica de análisis	Inversión M (miles US\$)
Cualitativo	$M < 40$
Sensibilidad	$40 < M < 5000$
Arbol de decisión	$5000 < M$

Tabla 2: Técnicas de análisis de riesgo según monto de inversión

La evaluación económica se complementa con un *análisis de riesgo* involucrado en la toma de una decisión. El riesgo es la cuantificación, en términos probabilísticos, de la incertidumbre asociada con las variables o datos de entrada al considerar un proyecto. Según el monto de la inversión a realizarse se pueden utilizar tres técnicas de análisis:

- Análisis cualitativo.
- Análisis de sensibilidad.
- Arbol de decisión.

En la tabla 2 se presenta una recomendación para la selección del método, de acuerdo con el orden de magnitud del monto de la inversión.

La evaluación financiera procura estimar el rendimiento de un proyecto en términos de recursos monetarios (precios de mercado) para un agente específico (la empresa, por ejemplo), a la luz de su entorno financiero. La evaluación financiera permite determinar la conveniencia para la empresa, desde el punto de vista estrictamente financiero, de realizar o no el proyecto. Por ello, en la evaluación financiera la valoración de costos y beneficios se hace utilizando los precios de mercado establecidos para cada proyecto en particular. El proceso de evaluación sigue los mismos pasos que en el caso económico. Como ilustración se incluyó en el manual un ejemplo completo de evaluación de un proyecto.

8 Recomendaciones operativas

Se ha encontrado que una eficiente labor administrativa de una empresa reduce en un menor nivel de pérdidas [7]. Por lo tanto, las empresas que tengan un elevado nivel de pérdidas deben ser conscientes de la necesidad de adoptar los mecanismos administrativos que permitan lograr el objetivo de disminuirlas. El objetivo de una operación eficiente que redunde en una mejor prestación del servicio debe estar, en lo posible, en el objetivo social de cada empresa [3].

Considerando que cada empresa tiene sus características propias. El manual incluye diversas recomendaciones de tipo general, tendientes a dotar a las empresas de la organización adecuada para el manejo eficiente de un programa de reducción de pérdidas.

Las áreas prioritarias de desempeño u objetivos principales de las empresas deben ser, entre otras:

- Atención al consumidor.
- Desempeño económico-financiero.
- Eficiencia operacional (incluyendo mantener bajo el nivel de pérdidas).
- Capacidad de innovación tecnológica.
- Preservación del medio ambiente.

El logro de los objetivos anteriores requiere de una estructura organizacional adecuada, un conjunto de métodos y procedimientos, un sistema de información, la infraestructura necesaria, una condición financiera adecuada y el compromiso de los recursos humanos con los objetivos propuestos.

8.1 Estructura organizacional

La estructura organizacional debe basarse en métodos modernos de organización de acuerdo con patrones comúnmente aceptados y en consonancia con las funciones de la organización. Las estructuras de empresas eléctricas según la naturaleza del servicio que presta (generación, transmisión, distribución), tienen mayor o menor énfasis en las diferentes áreas.

En lo referente a pérdidas eléctricas, se recomienda que la función de control de ellas, esté bajo la responsabilidad de una dependencia específica creada para este propósito y reportando directamente a los niveles altos en la organización. Esta dependencia debe establecer programas y proyectos relacionados con la reducción y control de pérdidas.

8.2 Métodos y procedimientos

En una empresa de energía eléctrica existen múltiples procedimientos: De ventas, financieros, de operación, de mantenimiento, etc. La formulación adecuada de éstos permite a la empresa lograr los objetivos planteados.

Para la elaboración de procedimientos administrativos se deben tomar en cuenta los siguientes criterios básicos:

- Inclusión de controles para detectar errores.
- Correspondencia entre la forma como se divide el trabajo y como se ejecutan los procedimientos.
- Sujeción a las normas.
- Determinación precisa de la competencia para tomar decisiones.

Indicadores de gestión

Los indicadores de gestión permiten medir cuantitativamente el logro de los objetivos propuestos. Los indicadores de gestión más apropiados relacionados con pérdidas son los siguientes:

- Pérdidas promedio de energía (MWH) por 100 km de circuito.
- Pérdidas promedio de potencia (MW) por capacidad de transformación en las subestaciones (MVA).
- Período de facturación.
- Tiempo para leer 100 medidores.
- Porcentaje de lecturas repetidas.

Es necesario identificar el nivel que deben alcanzar los indicadores de gestión, lo cual se debe basar en estudios particulares de cada empresa o, en su defecto, a partir de datos de otras empresas.

8.3 Infraestructura para el control y reducción de pérdidas

Para el adecuado control y reducción de pérdidas se requiere de los siguientes elementos:

- Recursos humanos adecuadamente motivados, entrenados y remunerados según el trabajo realizado.
- Soporte legal para castigar las acciones ilícitas que permita a la empresa reaccionar cuando se descubren tales acciones.
- Sistema de información que soporte eficientemente la toma de decisiones.

9 Anexos

El manual incluye apéndices que extienden varios temas relacionados con la evaluación económica de proyectos y las recomendaciones operacionales.

Además, se presentan cuatro anexos, los cuales presentan definiciones y conceptos básicos para complementar y soportar algunos conceptos usados en varias partes del manual. Los temas tratados son: Conceptos económicos y estadísticos y Mediciones eléctricas. También se presenta un glosario de términos relacionados con el problema de pérdidas eléctricas, cuyo propósito es el de establecer un lenguaje común a nivel latinoamericano y del Caribe.

10 Conclusiones

1. Si bien, en algunos países se ha identificado el problema de las pérdidas eléctricas como un tema prioritario dentro de las inquietudes del Sector Eléctrico, su definición y solución dentro de límites razonables está aún distante por falta de claridad y consistencia en los enfoques, de metodologías adecuadas, de espacio apropiado en la estructura organizativa de las empresas y de seguimiento de las medidas transitorias y de las recomendaciones permanentes que resultan de los estudios que en forma aislada se vienen desarrollando. El manual, sin ser un solucionario de todos los problemas derivados del control de las pérdidas eléctricas, es una herramienta que puede contribuir sustancialmente a un adecuado tratamiento de las pérdidas eléctricas en los países de la región.
2. Como un primer criterio unificado para el análisis del problema, se propone una clasificación que permite identificar las pérdidas y estimarlas mediante un procedimiento que minimiza la incertidumbre sobre el origen real de las mismas.
3. Una vez definido el problema se proponen dos estrategias para realizar el control de las pérdidas y llevarlas a niveles óptimos:
 - planeamiento óptimo de la expansión de los sistemas, incluyendo como criterio de diseño la reducción de las pérdidas técnicas.
 - concentración del esfuerzo por reducir las pérdidas no técnicas, en aquellos sectores y causas en los cuales se encuentra la mayor proporción de energía *perdida*. Se deben diferenciar las acciones a seguir entre las dirigidas a los usuarios con capacidad de pago y las que persiguen controlar el uso ilegal de energía por parte de quienes no la tienen. Dentro de esta estrategia son de gran importancia las campañas educativas permanentes y

masivas que enseñen a los usuarios a utilizar responsable y honestamente la energía eléctrica.

4. Los proyectos y programas para el control de pérdidas eléctricas deben ser sometidos a evaluación económica y financiera, con el objeto de establecer su impacto macroeconómico y sus consecuencias sobre las finanzas de la empresa responsable de esas acciones. Esta evaluación debe estar acompañada de un análisis distributivo, a fin de precisar con mayor certeza a quiénes beneficia, y en qué proporción. Debe incluir además un análisis de riesgo, para determinar la conveniencia del proyecto, teniendo en cuenta variaciones aleatorias de los parámetros de evaluación.
5. Es necesario contar con un espacio y un nivel de decisión dentro de estructura organizacional de la empresa, que favorezca el desarrollo y la evaluación continua de las acciones que se propongan y ejecuten, dentro del propósito de controlar las pérdidas eléctricas.

Referencias

- [1] Calabrese J. L., *Metodologías de Evaluación de Pérdidas no Técnicas*, Simposio Latinoamericano sobre Control de pérdidas eléctricas, OLADE, Bogotá, Octubre 1988.
- [2] *Estudio de Pérdidas de Energía en el Sector Eléctrico Colombiano*, Bogotá, Interconexión Eléctrica S.A., Sistecom Ltda. - Informe final, Julio 1981.
- [3] *Estudio Organizacional de Empresas de Energía Eléctrica*, Bogotá, Financiera Eléctrica Nacional S.A., Instituto Ser de Investigación - Consultoría Colombiana S.A. Agosto 1988.
- [4] Gutiérrez L.E., *Criterios y Procedimientos para el Análisis Económico de los Proyectos de Reducción de Pérdidas*, Simposio Latinoamericano sobre Control de pérdidas eléctricas, OLADE, Bogotá, Octubre 1988.
- [5] Gutierrez L. E., *Cost Benefit Analysis of Non-Technical Loss Reduction*, OLADE - ESMAP regional seminar on electric power system loss reduction in the Caribbean, July 1989.
- [6] *Medidas Remediales para el Control y Recuperación de Pérdidas No-técnicas en el Sistema de Energía de EE.PP.M. en el Período 1987-1990*, Empresas Públicas de Medellín Documento informativo presentado al Simposio Latinoamericano sobre el Control de Pérdidas Eléctricas, Bogotá, Octubre 1988.
- [7] Munasinghe, M., Gilling, J., M. Mason, *A Review of World Bank Lending for Electric Power*, The World Bank, Energy Department paper No. 2, 1988.
- [8] Munasinghe M., W. Scott, *Energy Efficiency: Optimization of Electric Power Distribution System Losses*, World Bank, Energy Department paper No. 6, Julio 1982.
- [9] Pacheco W. G., *A Practical Approach to the Calculation of the Technical Losses in a Power Systems*, paper presented at the Regional Seminar on Reducing Electric Power System Losses in Africa, Abidjam, Noviembre 1987.
- [10] Perich E., *El Robo de Electricidad, Tarifas y Rentabilidad*, Documento presentado en el Simposio Latinoamericano sobre el Control de Pérdidas Eléctricas, Bogotá, Octubre 1988.

- [11] Zannier A., Antolínez R., *Presentación de la Información de los Países de la Región*, documento presentado en el Simposio Latinoamericano de Pérdidas Eléctricas, Bogotá, Octubre de 1988.

Reconocimiento

Los autores desean expresar su reconocimiento a todas las personas y entidades sin cuya colaboración el trabajo hubiera resultado irrealizable. En primer lugar, a OLADE por la supervisión permanente que orientó la ejecución del documento. En segundo lugar, para hacer el manual *autosoportado* se incluyeron apéndices y anexos que fueron elaborados por profesionales contratados para este fin a quienes se desea hacer también expreso reconocimiento. Finalmente, al personal de apoyo que hizo menos difícil la ejecución de esta tarea.

Biografías

Estrella E. Parra Ingeniera Electricista, Especialista en Potencia Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Profesora Asistente, Universidad Nacional de Colombia.

Víctor Borrero Ingeniero Electricista, Especialista en Potencia Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero de la división de evaluación de proyectos de la Financiera Energética Nacional —FEN— (Colombia).

Renato Céspedes, Ingeniero Eléctrico, Universidad de los Andes (Colombia), Dr. Ing., Instituto Politécnico de Grenoble (Francia), Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia.

Germán Corredor Ingeniero Electricista, M. S. Economía, Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Finanzas, Universidad de los Andes (Colombia), Ingeniero de la División de Análisis Sectorial de la Financiera Energética Nacional —FEN— (Colombia).

Hernando Díaz Ingeniero Electricista, Especialista en Potencia Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, M. S., Ph. D. Ingeniería Eléctrica, Rensselaer Polytechnic Institute, Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia.

Lucio Flórez Ingeniero Electricista, M. S., en Potencia Eléctrica y M. D., Universidad Nacional de Colombia, Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia.

Luis A. Olarte Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia, M. S., en Investigación Universidad Santo Tomás, Colombia, Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia.

César A. Torres Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia, M. S., en Potencia Eléctrica, Rensselaer Polytechnic Institute, Ingeniero de la División de Análisis Sectorial de la Financiera Energética Nacional —FEN— (Colombia).