ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA DE LOS RÍOS.

Miguel Angel Marchán Vaca[1], Abel Francisco Murillo Mosquera[2], Juan José Caicedo Mejía[3], Adolfo Salcedo[4]

[1]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006; mmarchan81@hotmail.com.
[2]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006; ollirum77@hotmail.com
[3]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006; joccaicedo@yahoo.com
[4]Director de Tópico. Ingeniero Eléctrico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Maestría en Ingeniería Eléctrica USA, Instituto Politécnico de Rensselaer, Maestría en Administración de Empresas ESPOL, 1992 USA, Profesor de la ESPOL

RESUMEN (Español)
La Empresa Eléctrica Los Ríos C.A., tuvo un nivel de pérdidas para el año 2005 de 32.16%, la cuales se descomponen en 8.41% para las pérdidas técnicas y 23.75% para las pérdidas no técnicas.

Como las pérdidas no técnicas tienen un porcentaje superior se prioriza los procesos del mismo, ya que también para la reducción de estas pérdidas se necesita hacer una menor inversión y la recuperación es en menor tiempo en relación a las perdidas técnicas.

Entre los métodos para la reducción de pérdidas no técnicas tenemos, la instalación de redes preensambladas por convencionales, instalación de cable antihurto para las acometidas y también medidores electrónicos con cajas antihurtos.

Con la instalación de estos equipos podemos disminuir las instalaciones clandestinas, fraude, manipulación de los medidores, etc. Pero para que estas instalaciones funcionen como lo esperamos necesitamos que todos los trabajadores cumplan con el trabajo a ellos encomendados evitando los sobornos.

El costo de la instalación de estas redes preensambladas en comparación con las redes convencionales, está entre un 30 a 40% adicional que las redes convencionales, esto se debe a que el cable preensamblado está entre un 60 a 70% mas caro que el cable convencional aquí en Ecuador.

RESUMEN (Ingles)

The Electric Company Los Rios C.A., had a level of losses in the year 2005 of 32,16%, as they are disturbed in 8.41% for technical losses and 23,75% for the no technical losses.

As the no technical losses have a superior percentage prioritizes the processes of the same one, since also for the reduction of these losses it is needed to make a smaller investment and the recovery is in smaller time in relation to the lost techniques.

Between the methods for the reduction of no technical losses we have, the installation of networks preassembled, cable installation antitheft and boxes of polycarbonate with his respective meters. With the installation of this equipment we can diminish the clandestine facilities, fraud, manipulation of the measurers, etc. But so that these

facilities work as we waited for it we needed that all the workers fulfill the work them entrusted avoiding the bribes.

The cost of the installation of these networks preassembled in comparison with the conventional networks is 30 to 40% more expensive that the conventional networks, because, the preassembled cable is 60 to 70% more expensive that the conventional cable here in Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La Empresa Eléctrica Los Ríos C.A. presenta un nivel de pérdida de 32.16% para el año 2005 que equivale a 7,105 Mwh mensuales aproximadamente, esta cantidad de energía representa 7'105,000 USD mensuales.

En este trabajo se detalla métodos para el cálculo de las pérdidas técnicas y no técnicas, las cuales son de 8.41% y 23.75% respectivamente.

Actualmente la Empresa Eléctrica tiene problemas Administrativos y Sociales, teniendo un alto porcentaje de perdidas Comerciales en la cual aplicaremos un plan estratégico con mínima inversión y en poco tiempo obtendremos réditos para la Empresa, mientras que las perdidas Técnicas involucra mucha inversión a largo plazo con pocos beneficios.

En este trabajo se desarrolla una Reingeniería de Procesos, para reducir las falencias Administrativas y Sociales que existe en la Contratación del Servicio Eléctrico de un nuevo Cliente y así tener más ingresos para la empresa.

CONTENIDO.

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA.

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS

Cálculo de las pérdidas del Sistema de Subtransmisión.

Para el cálculo de las pérdidas técnicas del sistema de subtransmisión, hicimos la corrida de flujo de potencia utilizando el software de simulación de sistemas eléctricos EDSA [(1)], con esta corrida de flujo obtuvimos la pérdidas de potencia, luego con la definición de que las pérdidas son proporcionales a las demandas al cuadrado obtuvimos las pérdidas de potencia de las siguientes horas y la suma de ellas nos da igual a las pérdidas de energía en un día.

Las pérdidas de energía por mes y por año, las obtuvimos multiplicando las pérdidas de potencia a máxima demanda, el factor de pérdidas y el período de tiempo respectivo [(2)].

Tabla I. Pérdidas de Energía del Sistema de Subtransmisión		
HORA	**MW**	**PÉRDIDAS EN MW**
1	29,381	0,303
2	27,845	0,272
3	26,667	0,250
4	25,826	0,234
5	25,78	0,234
6	27,929	0,274
7	29,984	0,316
8	28,936	0,294
9	29,981	0,316
10	31,723	0,354
11	32,009	0,360
12	31,846	0,356
13	31,356	0,346
14	31,928	0,358
15	32,628	0,374
16	32,247	0,365
17	32,278	0,366
18	33,613	0,397
19	40,223	0,569
20	**44,31**	**0,690**
21	40,971	0,590
22	36,293	0,463
23	31,761	0,355
24	27,814	0,272
TOTAL MWH	**763,329**	**8,709**

Pérdidas de Energía		
	MWH	%
Diarias	8,709	1,14
Mensuales	300,49	1,36
Anuales	3605,86	1,49

Cálculo de las pérdidas de energía del sistema de distribución primario.

Para el cálculo de las pérdidas de energía del sistema de distribución primario, tomamos una muestra de los alimentadores de cada una de las subestaciones, a estas le calculamos las pérdidas de potencia utilizando el método de la escalera y después se las extrapolamos al resto de los alimentadores, tomando en cuenta el tipo de conductor, el tipo de carga.

Tabla II. Pérdidas de Energía del Sistema de Distribución Primario

	MWH	%
Diarias	15,053	1,99
Mensuales	451,54	2,07
Anuales	5418,45	2,26

Cálculo de las pérdidas de energía de los transformadores de distribución.

Para el cálculo de las pérdidas de energía de los transformadores de distribución, necesitamos las pérdidas de potencia en vacío y de cobre de este, además del factor de utilización, el factor de utilización que usamos fue el del sistema y aplicamos el siguiente procediendo.

Las pérdidas de potencia fija que son las del núcleo, se las obtiene únicamente sumando, las pérdidas de potencia individuales.

$$\mathbf{P = \sum_{i=1}^{n} (P_{0i})_{5kva} + \sum_{i=1}^{n} (P_{0i})_{10kva} + \ldots\ldots\ldots}$$

Donde:

P: Pérdidas de potencia totales en el núcleo.
P_{0i}: Pérdidas de potencia promedio por capacidad de transformador.

Las pérdidas de potencia en el cobre se obtienen multiplicando las pérdidas totales a potencia nominal por el factor de utilización de los transformadores, este resultado vendría a ser las pérdidas a demanda máxima.

$$\mathbf{P = \sum_{i=1}^{n} (P_{ci} \times FU^2)_{5kva} + \sum_{i=1}^{n} (P_{ci} \times FU^2)_{10Kva} + \ldots\ldots\ldots}$$

Donde:

P: Pérdidas de cobre totales a demanda máxima.
Pci: Pérdidas de cobre promedio por capacidad del transformador.
FU: Factor de utilización.

Las pérdidas de energía fueron calculadas multiplicando las pérdidas del núcleo o en vacío por 24, 720 y 8640 horas, mientras que las pérdidas de energía del cobre las obtuvimos siguiendo el proceso de subtransmisión, dándonos como resultado lo siguiente:

Tabla III. Pérdidas de los transformadores de Distribución	
Carga instalada MW	81,49
Demanda máxima que ingresa a los transformadores	42,89
Factor de utilización del Sistema	0,52
Pérdidas en Vacío Totales (MW)	0,43
Pérdidas en CU totales (MW)	0,32
Pérdidas totales de los transformadores (MW)	0,75
% de pérdidas en vacío	0,99
% de pérdidas en el cobre a d Dmax	0,75
% de pérdidas de potencia totales	1,74
Pérdidas de energía diaria en vacío MWH.	10,20
Pérdidas de energía mensual en vacío MWH.	306,00
Pérdidas de energía anual en vacío MWH.	3672,00
Pérdidas de energía diaria en cobre MWH.	4,11
Pérdidas de energía mensual en cobre MWH.	139,39
Pérdidas de energía anual en cobre MWH.	1672,70
% de pérdida de energía totales diaria.	1,92
% de pérdida de energía totales mensual.	2,04
% de pérdida de energía totales anual.	2,24

Pérdidas del sistema de distribución secundario.

Para las pérdidas del sistema de distribución secundario, dividimos en sectores y tomamos una muestra por cada sector. Los sectores los dividimos en residencial bajo, medio, alto y comercial – artesanal.
Luego:
Levantamiento físico de las redes secundarias, para obtener el diagrama unifilar del circuito, calibre de conductor, longitud del vano, números de usuarios, capacidad del transformador, número de luminarias, postes.
Se instaló medidores a las salidas de los transformadores por un mes para determinar la demanda que se produce en ese circuito.
Se calculó la energía promedio que debería consumir cada abonado de los circuitos secundarios de la muestra tipo.

$$\mathbf{P_m = \ KWH / n \times T}$$

Donde:

P_m: Potencia promedio de un abonado

KWH: Energía promedio mensual del circuito a esto le restamos la energía consumida por las luminarias

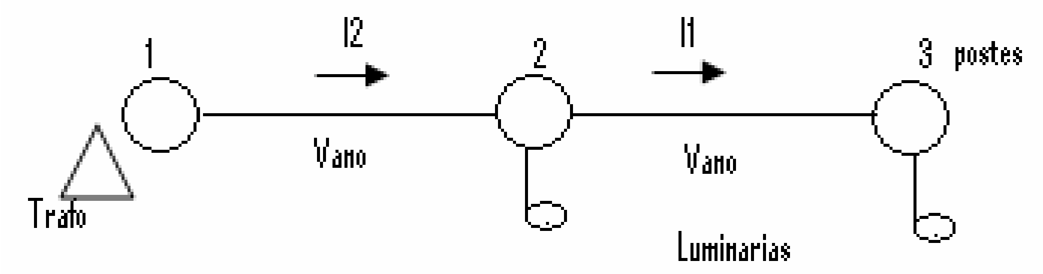
T: periodo de tiempo.

n: números de abonados

Como se sabe que las pérdidas son debidas a las corrientes que circulan por los conductores de la red como producto del consumo de energía por parte de los abonados y de las luminarias. La estrategia es calcular las pérdidas en cada tramo del circuito debido a la corriente total que circula por el tramo y al final sumar las pérdidas en los tramos para así obtener las perdidas del circuito.

Con el levantamiento físico obtuvimos cuantos abonados y luminarias van en cada poste (nodo), así podemos saber la potencia que va en cada nodo y determinar las pérdidas como vemos a continuación.

Figura 1. Diagrama unifilar de un circuito secundario con tres nodos.



Para determinar las pérdidas [3] en el vano 2-3 seguimos los siguientes pasos.

$P_{2\text{-}3} = (2*I_3^2 + I_L^2)*r*L$

$P_{2\text{-}3}$: Pérdidas del vano.
I_3: Corriente debido a los abonados en el poste 3
I_L: Corriente de las luminarias en el nodo 3
r: Resistencia del conductor en Ω/Km.
L: Longitud del vano.

Para determinar las pérdidas en el vano 1-2

$P_{1\text{-}2} = (2*I_2^2 + I_L^2 + 2I_a)*r*L$

$P_{1\text{-}2}$: pérdidas del vano.
I_2: corriente debido a los abonados en el poste 2
I_L: corriente de las luminarias en el nodo 2
I_a: corriente del vano anterior $(I_3 + I_L/2)$
r: resistencia del conductor en Ω/Km.
L: longitud del vano.

Multiplicamos la corriente de los abonados por dos porque son dos fases.

Para determinar la potencia promedio de los abonados de cada poste (nodo), multiplicamos la potencia promedio de cada abonado por el número de abonados que tenemos en cada poste, el numero de abonados es dividido para dos, porque asumimos que el sistema está balanceado, esto es en el caso de que los sean pares; si son impares asumimos que en una línea hay un abonado mas.

Pmn = Pm x n.

Pmn: Potencia promedio del nodo
Pm: Potencia promedio del abonado.
n: Número de abonado que salen del poste

Con la potencia promedio de los abonados por nodo determinamos la corriente debido al consumo de los abonados en ese nodo.

I_2: Pmn/Vx Fc x Fp.

Pmn: Potencia promedio debido al consumo de los abonados
V: Voltaje aplicado
Fc: Factor de carga depende del estrato para determinar la máxima corriente.
Fp: Factor de potencia dependiendo del estrato.

La corriente que cada luminaria tendría dependerá del tipo de lámpara para ello se utilizará la potencia real, que es la suma de la potencia nominal y lo que consumen los accesorios, para el cálculo de IL se aplica la siguiente formula:

I_L = Preal/VxFpl

Preal: Potencia real de la luminaria
V: Voltaje aplicado
Fpl: Factor de potencia de la luminaria.

TABLA IV. PÉRDIDAS DE ENERGÍA DE LOS CIRCUITOS SECUNDARIOS					
CIRCUITO SECUNDARIO		**FACTOR DE PÉRDIDA**	**PÉRDIDAS DE ENERGÍA MWH**		
TIPO	**PÉRDIDAS (KW)**		**DIARIA**	**MENSUAL**	**ANUAL**
RB	525,07	0,312	3,93	117,95	1415,42
RM	52,84	0,308	0,39	11,72	140,60
RA	1069,66	0,245	6,29	188,69	2264,26
C-IND	125,82	0,378	1,14	34,24	410,92
TOTAL	1773,39		11,75	352,60	4231,20

Pérdidas en Acometidas y Medidores.

De estudios que se han realizado para otros sistemas eléctricos se conoce que estos elementos aportan al total de pérdidas tanto en potencia como en energía con aproximadamente 0.5%[4], siendo las bobinas de voltaje de los equipos de medición los que aportan con casi la totalidad de las pérdidas.

Pérdidas de energía no técnica.

Para el cálculo de las pérdidas de energía comerciales lo vamos hacer mensual y anual, ya que EMELRIOS no dispone de información de facturación diaria, y vamos a seguir el siguiente procedimiento.

Las pérdidas comerciales es la diferencia entre las pérdidas totales y las pérdidas técnicas, las pérdidas totales es la diferencia entre la energía disponible y la facturada. Entonces de estas definiciones tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{P = Ec - Ef}$$

Donde:
P: Pérdidas de energía totales
Ec: Energía disponible
Ef: Energía facturada

Luego:

$$\mathbf{Pc = P - P_T}$$

Donde:
Pc: Pérdidas de energía comerciales
P_T: Pérdidas de energía técnicas

Cálculo de las Pérdidas Comerciales o no Técnicas.

En la siguiente tabla mostramos el cálculo de las pérdidas comerciales con su respectivo porcentaje

Tabla V. Pérdidas de Energía No Técnicas o Comerciales

Descripción	**Mes (Mayo)**			**Año (2005)**		
	KWH	**%**	**USD**	**KWH**	**%**	**USD**
Energía Disponible	22’121,935,00	100,00	2’212,193.50	242’263,481.00	100,00	24’226,348.10
Energía Facturada	14’559,627,00	65,82	1’455,962.70	165’007,915.00	68,11	16’500,791.50
Pérdidas Totales	7’562,308,00	34,18	756,230.80	77’255,566.00	31,89	7’725,556.60
Pérdidas Técnicas	1’652,880,00	7,47	165,288.00	19’718,530.00	8,14	1’971,853.00
Pérdidas Comerciales	**5’909,428,00**	**26,71**	**590,942.80**	**57’537,036.00**	**23,75**	**5’753,703.60**

Métodos para reducir las pérdidas no técnicas.

La metodología que utilizamos para la reducción de las pérdidas no técnica es basada en la utilización de redes preensamblada, que constan de los siguientes equipos.

- Cable trenzado o preensamblado, utilizado para la red de baja tensión.
- Cable concéntrico, utilizado para las acometidas.
- Cajas antihurto, utilizado para que no tengan acceso al medidor.
- Medidores electrónicos para que no manipulen el medidor.

El valor de esta red preensamblada por la red convencional está alrededor de un 30 a 40% adicional, ya que el cable preensamblado es más caro que el cable convencional.

Un factor que incide mucho en que estas redes funcionen al 100% es la responsabilidad y ética de las personas quienes hacen a la Empresa Eléctrica Los Ríos.

CONCLUSIONES.

Las pérdidas de energía de la Empresa Eléctrica Los Ríos, se encuentran en el orden de 32.16% anualmente. En donde las pérdidas técnicas son las siguientes 7.16% - 7.63% - 8.41%, diarias, mensual y anual, respectivamente y que equivalen a 5,320 USD, 165,287. USD y 1'971,852. Las pérdidas comerciales en EMELRIOS mensual y anual para el año 2005 fueron de 26.71% y de 23.75% respectivamente, que equivalen a 590,942 y 5'753,703 USD.

La Empresa Eléctrica Los Ríos C.A., tuvo un nivel de pérdidas de energía para el año 2005 de 32.16%, las mismas que se descomponen en 8.41% para las pérdidas técnicas y 23.75% para las pérdidas no técnicas.

Para la reducción de las pérdidas técnicas, primero se comienza con la ubicación de transformadores en el centro de carga, verificando que los transformadores no trabajen fuera de su rango de utilización y que las líneas de subtransmisión, distribución primaria y secundaria no estén sobrecargadas.

Las pérdidas técnicas también se pueden reducir indirectamente cuando la empresa invierta en mejorar la calidad de su sistema, cambiando transformadores y líneas sobrecargadas, etc.

Reducir las pérdidas comerciales es mas conveniente que reducir las pérdidas técnicas, debido que la inversión para reducir las pérdidas técnicas es alta y a largo plazo y muchas veces no se logra recuperar el capital, mientras que la inversión para reducir las pérdidas de energía no técnicas se obtiene mayores réditos a corto plazo y menor inversión.

REFENCIAS

(1) A. Murillo, M. Marchan y J. Caicedo, "Análisis Técnico Económico de Las Pérdidas de Energía de la Empresa Eléctrica de Los Ríos (Tesis, Facultad de Ingeniería y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral 2006).
(2) CONELEC; Febrero 2006, Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano del año 2005, http://www.conelec.gov.ec/downloads/Estadistica_05_xls.zip
(3) Whimper Sánchez y Cléber Morales. "Identificación y Control de Pérdidas de Energía en el Sistema de Distribución Secundaria"
(4) INECEL, Estudio del Control de Pérdidas de Energía de la Empresa Eléctrica Los Ríos C.A. (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Enero 1999).
(5) EDSA, Simulación de Sistemas Eléctricos, manual del software.
(6) Martín L. Mario, Pérdidas de Energía CIER.

Ing. Adolfo Salcedo
Director de Tópico de Graduación